

OPTIMALE PRODUKTIONS- UND HEDGING-ENTSCHEIDUNGEN AUF DEM GROSSHANDELSMARKT FÜR STROM

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften
(Dr. rer. pol.)

durch die Fakultät für
Wirtschaftswissenschaften
Universität Duisburg-Essen
Campus Essen

Vorgelegt von
Dipl. Kfm. Michael Römmich
Buxtehude
Essen, 2017

Tag der mündlichen Prüfung: 18.1.2018

Erstgutachter

Prof. Dr. Rainer Elschen

Zweitgutachter

Prof. Dr. Erwin Amann

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde 2017 an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Duisburg-Essen angenommen. Ich danke an dieser Stelle herzlich für die Unterstützung zahlreicher Personen, ohne die die erfolgreiche Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre:

Mein erster Dank geht an meinen Doktorvater, Herrn Univ.-Prof. Dr. Rainer Elschen. Ohne seine fachliche und moralische Unterstützung wäre die Arbeit nicht fertig gestellt worden. Bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Erwin Amann bedanke ich mich herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens und die Unterstützung bei der Überwindung mathematischer Problemstellungen. Mein Dank geht auch an Herrn Univ.-Prof. Dr. Rüdiger Kiesel für die fachliche Unterstützung bei Fragen zum Energiehandel.

Bedanken möchte ich mich bei Univ.-Prof. Dr. Jack E. Wahl, Prof. Dr. Mark Oelmann und dem gesamten EWM-Team, Prof. Dr. Andreas Wieseahn, Olli Gräulich, Dr. Stefan Jäschke, Dr. Holger Perlwitz und Dr. Markus Patzwald samt Praxisteam. Keija, danke für dein kulinarisches Engagement.

Zu guter Letzt möchte ich mich von ganzem Herzen bei meiner Familie bedanken: Bei meinen Eltern Ilse und Eduard – ihr habt mir die akademische Ausbildung ermöglicht und mich immer bestärkt. Bei meiner Frau Gudi und unseren Kinder Lenni, Jani und Lilly – ihr habt mir jahrzehntelang viel Verständnis entgegengebracht und meine Launen ausgehalten.

Gudi, Dir widme ich die Arbeit.

Michael

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	ix
Symbolverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Problematik	1
1.2 Literatur	2
1.3 Forschungsfragen und Untersuchungsschritte	10
2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements	13
2.1 Der Strommarkt in Deutschland	13
2.1.1 Einleitung	13
2.1.2 Stromangebot – die fluktuierende Merit-Order der Erzeugung . .	16
2.1.3 Die preisunelastische Stromnachfrage der Kunden	18
2.1.4 Der Stromhandel als zentrale Energie-Drehscheibe	21
2.2 Risikomanagement	28
2.2.1 Die Motivation unternehmerischen Risikomanagements	28
2.2.2 Der Risikomanagement-Prozess in der Stromwirtschaft	30
3 Modelltheoretische Analyse	35
3.1 Entscheidungstheoretische Grundlagen	35
3.1.1 Risiko und Unsicherheit	35
3.1.2 Bernoulli-Prinzip – Entscheidungen unter Risiko	37
3.1.3 Erwartungsnutzen und Sicherheitsäquivalent – Präferenzen auf Basis von Erwartungswert und Varianz	39
3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität	44
3.2.1 Produktionsentscheidung und direktes Hedging	44
3.2.1.1 Annahmenkatalog	44
3.2.1.2 Erwartungsnutzenmaximierung	46
3.2.1.3 Maximierung von Erwartungswert-Varianz-Präferenzen .	52

Inhaltsverzeichnis

3.2.2	Produktionsentscheidung und indirektes Hedging	61
3.2.2.1	Erwartungsnutzenmaximierung	61
3.2.2.2	Maximierung von Erwartungswert-Varianz-Präferenzen .	63
3.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	71
3.3	Modelle mit begrenzter Marktliquidität	71
3.3.1	Produktionsentscheidung und direktes Hedging mit Transaktionskosten	74
3.3.1.1	Erwartungsnutzenmaximierung	74
3.3.1.2	Maximierung von Erwartungswert-Varianz-Präferenzen .	76
3.3.2	Produktionsentscheidung und indirektes Hedging mit Transaktionskosten	82
4	Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen für die Energiewirtschaft	91
4.1	Zusammenfassung	91
4.2	Handlungsempfehlungen für die energiewirtschaftliche Praxis	92
5	Anhang: Herleitung ausgewählter Sensitivitätsanalysen	95
	Literaturverzeichnis	97

Abbildungsverzeichnis

2.1	Kategorien von Handelsprodukten	23
2.2	Handelsvolumina	25
2.3	EPEX-Stundenpreise für 2016 – 2017	26
2.4	EPEX-Stundenpreise für Januar und Mai 2016	27
2.5	Merit-Order-Effekt durch zunehmende Windeinspeisung	27
2.6	Prozessmanagement	31
2.7	Risiken der Wertschöpfungsstufen Strom	33
3.1	Erwartungsstruktur	37
3.2	Risikoprämie und Risikoaversion	43
3.3	Vergleich der Produktionsmengen x_s^* und x^* Parameter: $\alpha = 0.5, E[\tilde{p}] = p_f = 50, V[\tilde{p}] = 5, c \geq 0.5$	58
3.4	Vergleich der Produktionsmenge x_i^* mit der Hedgingmenge h_i^* Parameter: $\alpha = 0.5, E[\tilde{p}] = 50, V[\tilde{p}] = \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] = 5$	67
3.5	Eingeschränkte Terminmarktliquidität in Bid-Offer-Darstellung	73
3.6	Vergleich der Produktionsmengen x_l^* und x_i^* in Abhängigkeit von b Parameter: $\alpha = 0.5, E[\tilde{p}] = 50, V[\tilde{p}] = 5, \rho^2 = 0.2$	79
3.7	Vergleich der Hedging-Effektivitäten ρ^2 und ρ_c^2 in Abhängigkeit von $\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]$ für unterschiedliche b_i mit $i \in \{0, 1, 2, 3\}$ Parameter: $\alpha = 0.5, V[\tilde{p}] = 5, V[\tilde{g}] = 5, b_0 = 0, b_1 = 0.1, b_2 = 0.5, b_3 = 0.8$	85
3.8	Vergleich der Hedge-Ratios β und β_c in Abhängigkeit von $\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]$ für unterschiedliche b_i mit $i \in \{0, 1, 2, 3\}$ Parameter: $\alpha = 0.5, V[\tilde{g}] = 7, b_0 = 0, b_1 = 0.1, b_2 = 0.5, b_3 = 0.8$	85
3.9	Produktionsgleichheit $x_l^* = x_c^*$ – Linearer Zusammenhang zwischen b_l und b_c für unterschiedliche Hedging-Effektivitäten ρ_i^2 mit $i \in \{0, 1, 2, 3\}$ Parameter: $\alpha = 0.5, \rho_0^2 = 1, \rho_1^2 = 0.81, \rho_2^2 = 0.64, \rho_3^2 = 0.36$	88

Tabellenverzeichnis

1.1	Literaturüberblick: Optimale Hedging- und Produktionsentscheidung – eigene Darstellung	11
3.1	Sensitivitätsanalysen – Reine Produktionsentscheidung ohne Terminmarktzugang	59
3.2	Sensitivitätsanalysen – Produktionsentscheidung mit direktem Hedging und einer Risikoprämie von Null	60
3.3	Sensitivitätsanalysen – Produktion mit indirektem Hedging, einer Risikoprämie von Null und $\rho \neq \pm 1$	69
3.3	Sensitivitätsanalysen – Produktion mit indirektem Hedging, einer Risikoprämie von Null und $\rho \neq \pm 1$	70
3.4	Sensitivitätsanalysen – Produktion mit Transaktionskosten, direktem Hedging und einer Risikoprämie von Null	81
3.5	Sensitivitätsanalysen – Produktion mit indirektem Hedging und Transaktionskosten, einer Risikoprämie von Null und $\rho \neq \pm 1$	89
4.1	Modellvarianten aus der Literatur (1.–3.) und Weiterentwicklungen (grau hinterlegt)	93

Symbolverzeichnis

Symbol	Kurzbeschreibung
\forall	für alle
α	Absolute Risikoaversion
$*$	Optimum
a	Parameter Kostenfunktion
\tilde{A}	Spotmarktpreis abzüglich Grenzkosten
β	Steigung einer linearen Regression bzw. Hedge-Ratio
β_c	Hedge-Ratio bei indirektem Hedging mit Transaktionskosten
\tilde{B}	Terminmarktpreis abzüglich Spotmarktpreis
c	Parameter Kostenfunktion
$C(x)$	Kostenfunktion in Abhängigkeit von der Produktionsmenge x
CE	Sicherheitsäquivalent / certainty equivalent
$Cov[\cdot]$	Kovarianzoperator
det	Determinante
$E(\cdot)$	Ergebnisfunktion
$E[\cdot]$	Erwartungswertoperator
$\tilde{\epsilon}$	Störterm lineare Regression
$f(\cdot)^{-1}$	Umkehrfunktion von $f(\cdot)$
\tilde{g}	Spotmarktpreis bei indirektem Hedging
g_f	Terminmarktpreis bei indirektem Hedging/Cross Hedging
g_{f0}	Terminmarktpreis bei indirektem Hedging mit Transaktionskosten für $h = 0$
h	Menge bei direktem Hedging
h_c	Menge bei indirektem Hedging mit Transaktionskosten
h_i	Menge bei indirektem Hedging

Symbolverzeichnis

Symbol	Kurzbeschreibung
h_l	Menge bei direktem Hedging mit Transaktionskosten
H	Hessematrix
HR	Hedge-Ratio
μ	Erwartungswert
M	Marktzugangsprämie differenziert nach Modellvarianten
\tilde{p}	Spotmarktpreis
p_f	Terminmarktpreis bei direktem Hedging
p_{f0}	Terminmarktpreis bei direktem Hedging mit Transaktionskosten für $h = 0$
$\Phi(\cdot)$	Präferenzfunktion
$\tilde{\pi}$	Risikobehafteter Gewinn
RP	Risikoprämie
RP_e	Effektive Risikoprämie
ρ	Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson
ρ^2	Bestimmtheits- und Effizienzmaß indirektes Hedging
ρ_c^2	Effizienzmaß Cross Hedging mit Transaktionskosten
s	Zustand
σ^2	Varianz
t	Zeitpunkt
$U(\cdot)$	Nutzenfunktion
$V[\cdot]$	Varianzoperator
x	Produktionsmenge bei direktem Hedging
x_c	Produktionsmenge bei indirektem Hedging mit Transaktionskosten
x_i	Produktionsmenge bei indirektem Hedging
x_l	Produktionsmenge bei direktem Hedging mit Transaktionskosten
x_s	Produktionsmenge ohne Hedging

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Kurzbeschreibung
AG	Aktiengesellschaft
AktG	Aktiengesetz
BNetzA	Bundesnetzagentur
bspw.	beispielsweise
Bsp.	Beispiel
bzw.	beziehungsweise
Def.	Definition
EC	European Community
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEX	European Energy Exchange
einschl.	einschließlich
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPEX	European Power Exchange
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EU	Europäische Union
EUR	EURO
EXAA	Energy Exchange Austria
f./ff.	folgende
ggf.	gegebenfalls
GE	Geldeinheit
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
KonTraG	Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Kurzbeschreibung
kV	Kilovolt
ME	Mengeneinheit
MW	Megawatt (Leistung)
MWh	Megawattstunde (Arbeit)
OLS	Ordinary Least Squares (kleinste Quadrate)
OTC	Over the Counter (außerbörslich)
PV	Photovoltaik
TWh	Terrawattstunde
vs.	versus
u.a.	unter anderem
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

1.1 Problematik

Risiken und Erwartungen über die zukünftige wirtschaftliche Entwicklung beeinflussen unternehmerische Entscheidungen. Die vorliegende Arbeit untersucht den Einfluss von Preisrisiken auf optimale Produktions- und Hedging-Entscheidungen.¹

Modellansätze optimaler Produktions- und Hedging-Entscheidungen werden bislang in der Literatur zur Energiewirtschaft wenig gewürdigt. Ein Grund dafür ist die kurze Historie der Liberalisierungsbemühungen im Vergleich zur langen Historie regulierter Strommärkte. Die Liberalisierung sorgt für eine Preisbildung unter Wettbewerbsbedingungen. Die daraus resultierenden volatilen Strompreise erhöhen die Bedeutung des betrieblichen Risikomanagements.

Die Herausforderungen für die Modellierung von Produktion- und Hedging-Entscheidungen in der Energiewirtschaft liegen in der Ware Strom an sich: Sie ist – im Vergleich zu Aktien oder Anleihen – flüchtig bzw. kaum speicherbar und ihre physikalischen Transport- und Verteilwege sind komplex. Aufgrund der schlechten Speicherbarkeit ist kein intertemporaler Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage möglich. Begrenzte Transportkapazitäten von Stromnetzen schränken die Bildung eines großen, liquiden Marktgebiets für Stromhandelsprodukte mit vielen Marktteilnehmern ein.

Durch die Marktliberalisierung sind Handelsmärkte für Spot- und Termingeschäfte entstanden. Die Liquidität dieser Handelsmärkte hat in den letzten Jahren zugenommen.² Unternehmen, die auf diesen Energiemärkten tätig sind, können sich gegen Preisrisiken am Großhandelsmarkt absichern. Deshalb ist es sinnvoll, die Modelle zur optimalen

¹Der Begriff Hedging-Geschäft bzw. hedge kommt aus dem Englischen. Collins Dictionary beschreibt “hedging” als “the act of guarding against loss in making bets or taking risks.” Die Person oder das Unternehmen, welches das Hedging-Geschäft durchführt, wird im englischen Sprachgebrauch als “Hedger” bezeichnet. Unter einem Hedging-Geschäft wird in der Regel ein Termingeschäft zur Risikoabsicherung einer Transaktion oder weiter gefasst die Absicherung einer monetären Zielgröße wie Endvermögen oder Unternehmensgewinn gegen Risiken verstanden.

²Bundesnetzagentur u. Bundeskartellamt (2017), S. 172ff.

1 Einleitung

Produktions- und Hedging-Entscheidung auf Energiemärkte zu übertragen und zu erweitern.

Im Vergleich zu anderen Großhandelsmärkten, wie für Aktien, Wechselkurse oder Anleihen, ist die Marktliquidität am Großhandelsmarkt für Energie gering. Politische Eingriffe in die rechtlichen Rahmenbedingungen³ für den Energiehandel in Deutschland gefährden das Vertrauen der Marktteilnehmer und können die Marktliquidität negativ beeinflussen. Gerade dieser politische Einfluss, mit seinen möglichen Auswirkungen auf die Liquidität von Energiemärkten im Allgemeinen und Strommärkten im Speziellen, macht eine Übertragung und Erweiterung von aus der wissenschaftlichen Literatur bekannten finanzwirtschaftlichen Modellen zur optimalen Produktion- und Hedging-Entscheidung interessant.

1.2 Literatur

Die Entwicklung eines eigenständigen Modellansatzes zur Bewertung optimaler Produktions- und Hedging-Entscheidungen fußt auf einer Bestandsaufnahme der hierzu vorliegenden wissenschaftlichen Literatur. Bereits in den fünfziger Jahren entwickelte Markowitz seine Portfolio-Theorie.⁴ Die Theorie wurde allerdings erst gut 10 Jahre später angewendet, um unterschiedliche Hedging-Motive von Marktteilnehmern zu erklären.

Working zum Beispiel vertrat die Auffassung, dass ein Hedger ein Engagement auf dem Terminmarkt vorrangig aus spekulativen Motiven⁵ suche und das Motiv der Risikoreduktion der Position auf dem Spotmarkt nebenrangig sei.⁶

Die Modellansätze aus der wissenschaftlichen Literatur werden nach folgenden Unterscheidungskriterien kategorisiert:

1. Anzahl der Entscheidungszeitpunkte
2. Art der Zielfunktion des Entscheiders
3. Art des Wettbewerbs auf den Märkten
4. Art und Anzahl der Risiken
5. Art der Absicherungsinstrumente

³Beispielhaft seien hier die Novellierungen des Gesetzes für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) genannt.

⁴Vgl. Markowitz (1952).

⁵Vgl. Pennings u. Leuthold (2000) mit einer Übersicht verschiedener Hedging-Motive.

⁶Vgl. Working (1953), S. 325.

Auf Basis dieser fünfdimensionalen Systematik werden die Modelle der optimalen Produktions- und Hedging-Entscheidung eingeordnet und beschrieben.

Erste Dimension – Anzahl der Entscheidungszeitpunkte: In der wissenschaftlichen Literatur finden sich neben den zeitstetigen Modellen, mit unendlich kleinen und unendlich vielen Entscheidungsabständen, diskrete Ein- und Mehr-Zeitpunktmodelle. Diskrete Mehr-Zeitpunktmodelle analysieren unter anderen Zilcha/Eldor,⁷ Broll/Zilcha,⁸ Froot/Stein,⁹ Broll/Wahl/Zilcha,¹⁰ Weber/Woll¹¹ und Jaenicke.¹²

Die ersten Modellierungen waren Ein-Zeitpunktmodelle. Der Entscheidungsträger baute zu einem Zeitpunkt seine optimale Position am Spot- bzw. Terminmarkt auf. Die Arbeiten von Johnson¹³ und von Stein¹⁴ können als gemeinsamer Startpunkt für weitere wissenschaftliche Arbeiten interpretiert werden. Stein war der erste, der graphisch im Lichte der Portfolio-Theorie¹⁵ die Entscheidung für Positionen auf dem Spot- und auf dem Terminmarkt als ein Abwägen zwischen den Motiven Risikominimierung und Gewinnmaximierung analysierte.

Johnson verfolgte mathematisch die gleiche portfolio-theoretische Sicht wie Stein und kam zu ähnlichen Ergebnissen. Beide Autoren konnten zeigen, dass der Entscheidungsträger eine optimale Kombination aus erwartetem Gewinn und Risiko, gemessen durch die Varianz des Gewinns, anstrebt. Johnson entwickelte ein Maß für die Hedging-Effektivität einer Terminmarktposition im Verhältnis zur Spotmarktposition, das für spätere Analysen in der Literatur Bedeutung erlangte.¹⁶

Paradoxerweise ist die Arbeit von Sandmo der Ausgangspunkt vieler Hedging-Modelle, obwohl seine Analyse einer Produktionsentscheidung keine Hedging-Entscheidung am Terminmarkt abbildet.¹⁷ Die einzige Entscheidungsvariable eines Unternehmens, das für den heimischen Markt auf Basis von konvexen Kosten produziert, liegt bei Sandmo in der Höhe des Outputs. Dabei unterstellt er, dass die Entscheidung über die Produktionsmenge getroffen werden muss, bevor dem Unternehmen der Preis am Spotmarkt sicher bekannt ist. Zum Zeitpunkt der Produktionsentscheidung ist der Verkaufspreis am Markt eine

⁷Vgl. Zilcha u. Eldor (1991).

⁸Vgl. Broll u. a. (1995).

⁹Vgl. Froot u. Stein (1998).

¹⁰Vgl. Broll u. a. (1999).

¹¹Vgl. Woll u. Weber (2008).

¹²Vgl. Jaenicke (2001).

¹³Vgl. Johnson (1960).

¹⁴Vgl. Stein (1961).

¹⁵Vgl. Markowitz (1952).

¹⁶Vgl. Johnson (1960), S. 144, Heifner (1972), S. 28., Ederington (1979), S. 164.

¹⁷Vgl. Sandmo (1971), Ishii (1977), mit der Korrektur eines Ergebnisses von Sandmo.

1 Einleitung

Zufallsvariable. Sandmo unterstellt, dass das Unternehmen am Markt als Preisnehmer agiert und damit die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Preises nicht beeinflussen kann. Das risikoaverse Unternehmen wählt seine Produktionsmenge auf Basis der Maximierung des Erwartungsnutzens vom Endvermögen. Sandmo untersucht die Fragestellung, ob bzw. inwieweit sich ein Preisrisiko auf das optimale Produktionsvolumen im Vergleich zu einer Entscheidungssituation unter Sicherheit auswirkt, und zeigt, dass ein risikoaveres Unternehmen auf ein Preisrisiko mit einer Verringerung seiner Produktion im Vergleich zu einer Situation unter Sicherheit ohne Preisrisiko reagiert.

Baron¹⁸ leitet unter ähnlichen Annahmen wie Sandmo ein präziseres Ergebnis her: Die optimale Produktionsmenge ist eine fallende Funktion der absoluten Risikoaversion, gemessen durch das Arrow-Pratt-Maß.¹⁹

Nahezu zeitgleich haben sowohl Danthine²⁰ als auch Holthausen²¹ die Analyse von Sandmo um Hedging-Möglichkeiten auf einem Terminmarkt erweitert.

Im Modell von Holthausen hat ein Unternehmen die Möglichkeit, ein Preisrisiko zu verändern oder gar vollständig zu eliminieren. Als zentrales Ergebnis leitet Holthausen ein *Separationstheorem* her. Es besagt, dass das Unternehmen seine Produktionsmenge unabhängig vom Hedgingvolumen wählt, indem es die Grenzkosten der Produktion dem Terminpreis gleichsetzt. Die Produktionsentscheidung kann von der Entscheidung über das Hedgingvolumen separiert werden. Die Produktionsentscheidung orientiert sich nur am Terminmarktpreis und nicht am erwarteten Spotmarktpreis und ist unabhängig vom Grad der Risikoaversion oder von Preiserwartungen. Die Produktionsmenge bei Existenz eines Terminmarkts gleicht der Produktionsentscheidung unter Sicherheit, wenn der Terminmarktpreis dem Preis bei Sicherheit entspricht.

Allerdings gilt die Separationseigenschaft nur in eine Richtung. Denn die Hedgingmenge hängt von der Produktionsmenge ab. Entspricht der erwartete Marktpreis dem Terminpreis, dann ist es für den Unternehmer optimal, seine Produktionsmenge am Terminmarkt zu verkaufen und damit das Preisrisiko vollständig zu eliminieren. Rolfo²² spricht für diesen Fall vom “full-hedge”.

Die Separationseigenschaft von Produktions- und Hedging-Entscheidung im Holthausen-Modell stellt ein neues Ergebnis für die Theorie der Unternehmung dar.

¹⁸Vgl. Baron (1970).

¹⁹Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 85.

²⁰Vgl. Danthine (1978).

²¹Vgl. Holthausen (1979).

²²Vgl. Rolfo (1980) S. 101.

Separationstheoreme sind in der finanzwirtschaftlichen Literatur von hoher Bedeutung, weil sie wesentliche Vereinfachungen von Entscheidungsproblemen erlauben und wichtige Implikationen für die betriebliche Praxis haben. Wichtige Fragestellungen im Zusammenhang mit Separationstheoremen sind:

1. Fisher-Separation:²³ Unter welchen Bedingungen kann die optimale Investitionsentscheidung eines Entscheiders in einer Entscheidungssituation unter Sicherheit von seiner optimalen Konsumentenentscheidung getrennt werden?
2. Irrelevanztheorem der Finanzierung:²⁴ Unter welchen Bedingungen ist der Marktwert eines Unternehmens unabhängig von der Finanzierungsstruktur bzw. dem Verschuldungsgrad?
3. Tobin-Separation:²⁵ Unter welchen Bedingungen halten alle Investoren unabhängig von ihrer Nutzenfunktion und ihrem Anfangsvermögen ein in der Struktur gleiches, optimales Portfolio von risikobehafteten Wertpapieren? Die optimale Struktur des riskanten Portfolios wird dabei durch das Verhältnis der Wertpapierstückzahlen ausgedrückt. Die Tobin-Separation stellt ein Bindeglied zwischen der Portfolio-Theorie und der Hedging-Literatur als Teil der Theorie der Unternehmung dar.

Zweite Dimension – Art der Zielfunktion des Entscheiders: Die Beschreibung und Analyse rationaler Entscheidungen von Individuen oder Unternehmen ist die Grundlage der Theoriebildung in der Finanzwirtschaft. Modelle zur optimalen Produktions- und Hedging-Entscheidung lassen sich entscheidungstheoretisch in drei Kategorien einteilen.

Schon in der Portfolio-Theorie²⁶ trifft der Entscheider seine optimale Portfolio-Auswahl basierend auf Präferenzen von Erwartungswert und Varianz der Portfolio-Rendite.²⁷ Das Bernoulli-Prinzip – als eine Entscheidung auf Basis des Erwartungsnutzens vom Endvermögen – haben von Neumann und Morgenstern axiomatisch begründet.²⁸ Das Bernoulli-Prinzip stellt das Standardverfahren für Entscheidungen in Risikosituationen dar.²⁹ Die Kritik am Bernoulli-Prinzip und seinen Axiomen rationalen Verhaltens führte zur Entwicklung von komplexen Non-Expected-Utility-Ansätzen.³⁰ Für diverse Autoren ist das Bernoulli-Prinzip ein Mittelweg zwischen klassischen Entscheidungskriterien und

²³Vgl. Fisher (1930).

²⁴Vgl. Modigliani u. Miller (1958).

²⁵Vgl. Tobin (1958).

²⁶Vgl. Markowitz (1952).

²⁷In der Literatur auch Mean-Variance-Rule (MV-Regel) oder (μ, σ^2) -Präferenzfunktion genannt.

²⁸Vgl. Laux u. a. (2012), S. 125.

²⁹Vgl. Löffler (2001), S. 43ff., eine Analyse zur Vereinbarkeit von Bernoulli-Prinzip und MV-Regel.

³⁰Vgl. Kahneman u. Tversky (1979).

1 Einleitung

Non-Expected-Utility-Ansätzen.³¹ Die in dieser Arbeit analysierten Modelle der optimalen Produktions- und Hedging-Entscheidung sind kompatibel mit dem Bernoulli-Prinzip bzw. der MV-Regel. Gerade die MV-Regel ist in finanzwirtschaftlichen Modellen eine erste und gut modellierbare Näherung für die Zielfunktion eines Entscheiders.

Dritte Dimension – Art des Wettbewerbs auf den Märkten: Hedging- und Produktionsmodelle werden auf Fragestellungen von Güter- oder Kapitalmärkten angewendet, die unterschiedliche Grade der Marktvollkommenheit bzw. des Wettbewerbs zwischen den Marktteilnehmern aufweisen.

Vollkommener Wettbewerb wird durch einen Markt charakterisiert, auf dem alle Marktteilnehmer als Preisnehmer auftreten und ihre individuellen Markttransaktionen keinen Einfluss auf den Preis haben.³² Der Gegenpol zum vollkommenen Wettbewerb ist das Monopol. Der Monopolist setzt mangels Konkurrenz durch seine Mengenentscheidung den Preis. Zwischen diesen beiden extremen Marktformen existieren weitere Formen des Wettbewerbs. Im Rahmen der Oligopoltheorie werden Preis- und Mengen-Entscheidungen mehrerer Marktteilnehmer analysiert, die abhängig von der Anzahl der Konkurrenten Einfluss auf den Preis und das Marktergebnis haben.^{33 34}

Die Arbeit von Wessel³⁵ gibt einen Überblick über die Auswirkungen von oligopolistischen Marktstrukturen auf Produktions- und Hedging-Entscheidungen. Eine wichtige Frage in diesem Theoriestrang lautet, ob der Einsatz von Hedging-Instrumenten strategische Möglichkeiten der Preisbeeinflussung eröffnet und zu Wechselwirkungen mit der Produktionsentscheidung führt?

Eldor und Zilcha³⁶ analysieren die simultane Produktions- und Hedging-Entscheidung in einem Cournot-Oligopol³⁷ mit Wechselkursrisiko. Auf dem Gütermarkt produzieren n gleiche Unternehmen ein homogenes Gut, das am Terminmarkt per Forwardkontrakt verkauft werden kann. Bei simultanen Entscheidungen aller Marktteilnehmer bietet das Termingeschäft keine strategischen Handlungsoptionen und bedient ausschließlich Ziele des Risikomanagements. Eldor und Zilcha konnten in ihrem Modellrahmen die Separationseigenschaft nachweisen und zeigen, dass bei unverzerrten Terminmarktpreisen,

³¹Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 105.

³²Vgl. Varian (1992), S. 215ff.

³³Vgl. Varian (1992), S. 285ff.

³⁴Vgl. Weber (2005), S. 79ff.

³⁵Vgl. Wessel (2011).

³⁶Vgl. Eldor u. Zilcha (1990).

³⁷Vgl. Varian (1992), S. 285ff.

wenn der Terminmarktpreis dem erwarteten Spotmarktpreis entspricht, die Unternehmen ihr gesamtes Produktionsvolumen am Terminmarkt absichern.³⁸

Strategische Aspekte in der Wahl von Hedgingmengen kommen dann zum Tragen, wenn sequenzielle anstatt simultaner Entscheidungen modelliert werden.

Ungern-Sternberg/Weizsäcker³⁹ haben den sequenziellen Ansatz als erste verfolgt, allerdings ohne eine Wechselwirkung zwischen Produktions- und Hedging-Entscheidung zu betrachten. Erst die Modellansätze von Allaz,⁴⁰ Allaz/Villa,⁴¹ Hughes/Kao,⁴² Ulukut,⁴³ Broll et al.⁴⁴ und Wessel⁴⁵ betrachteten die Wechselwirkungen und konnten zeigen, dass der Einsatz von Hedging-Instrumenten hilft, strategische Ziele zu verfolgen. Wenn bei einer sequenziellen Entscheidung im Cournot-Duopol im ersten Schritt eine Hedging-Position festgelegt wird, kann dies im zweiten Schritt zu einer größeren Produktionsmenge führen. Beide Duopolisten produzieren mehr als in der Situation ohne Terminmarktzugang.⁴⁶ Die Separationseigenschaft geht bei der sequenziellen Modellierung verloren.⁴⁷

Vierte Dimension – Art und Anzahl der Risiken: In den ersten Modellen zu optimalen Produktions- und Hedging-Entscheidung stehen Preisrisiken im Vordergrund.⁴⁸ Dies ist wenig überraschend, weil sich beide Modelle an der Portfolio-Theorie orientieren und damit eine Kapitalmarktsichtweise und keine realwirtschaftliche Perspektive einnehmen.

Für den Erfolg von landwirtschaftlichen Betrieben oder Industriebetrieben spielen neben Preisrisiken weitere Risiken eine Rolle: Produktionsrisiken aufgrund technologischer Unsicherheiten oder Mengenrisiken im Bereich des Absatzes aufgrund risikobehafteter Nachfrage. Gerade im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktion stellt der unsichere Ernteertrag ein wesentliches Mengenrisiko dar. In anderen Modellen wurden neben den Mengenrisiken auch Wechselkurs- bzw. Währungsrisiken als spezielle Formen von Preisrisiken analysiert.

Multiple Risiken in Modellierungen als Kombination aus Preis- bzw. Wechselkurs- und

³⁸Vgl. Eldor u. Zilcha (1990), S. 19ff.

³⁹Vgl. Ungern-Sternberg u. Weizsäcker (1990).

⁴⁰Vgl. Allaz (1992).

⁴¹Vgl. Allaz u. Vila (1993).

⁴²Vgl. Hughes u. Kao (1997).

⁴³Vgl. Ulukut (2008).

⁴⁴Vgl. Broll u. Eckwert (2009).

⁴⁵Vgl. Wessel (2011).

⁴⁶Vgl. Wessel (2011), S. 139ff.

⁴⁷Vgl. Wessel (2011), S. 2.

⁴⁸Vgl. Johnson (1960), Stein (1961).

1 Einleitung

Mengenrisiken finden sich bei einer Vielzahl von Autoren, die die Existenz der Separationseigenschaft und die Optimalität von Full-Hedge-Strategien für multiple Risiken analysiert haben. Stellvertretend seien folgende Arbeiten angeführt:

- Benninga et. al.⁴⁹ und Kawai/Zilcha⁵⁰ für Absatzpreis- und Wechselkursrisiken,
- Briys et al.⁵¹ und Adam-Müller⁵² für Wechselkursrisiken und nicht absicherbare Risiken,
- Danthine,⁵³ Rolfo⁵⁴, Chavas/Pope⁵⁵ und Honda⁵⁶ für Preis- und Produktionsrisiken.

Ein weiterer Aspekt bei reinen Preisrisiken betrifft die zeitliche Dimension, wenn für die eigenen Produkte kein passender Terminmarkt existiert und damit eine direkte Absicherungsmöglichkeit entfällt. Im Gegensatz zu einer direkten Hedging-Strategie wird bei einer indirekten Hedging-Strategie das Preisrisiko auf einem anderen Terminmarkt abgesichert. Für die Güte der indirekten Absicherungsmaßnahme ist die Korrelation der Preisrisiken entscheidend. Anderson/Danthine⁵⁷ sprechen in diesem Zusammenhang von einem “cross hedge”.

Vor der Publikation der Arbeit von Benninga et. al. waren im Schrifttum zu indirekten Hedging-Strategien uneinheitliche Handlungsempfehlungen verbreitet: von der Vollabsicherung durch Aufbau einer Gegenposition bis hin zu einer Teilabsicherung abhängig von individuellen Präferenzen und Erwartungen.⁵⁸ Der Ansatz von Benninga et al. besticht durch die Allgemeingültigkeit des Ergebnisses und die klare Handlungsempfehlung: Benninga et al. zeigen, bei sonst ähnlichen Modellannahmen wie Holthausen, dass für risikoaverse Entscheider das optimale Absicherungsvolumen bei indirektem Hedging unabhängig von individuellen Präferenzen ist und dem Minimum-Varianz-Hedge entspricht.⁵⁹ Dieses Ergebnis ist an zwei zusätzliche Bedingungen geknüpft. Die erste Bedingung fordert sogenannte “unbiasedness” des Terminmarkts, d.h. der Terminmarktpreis entspricht dem erwarteten Spotmarktpreis. Die Bedingung der “separability” ist technischer Natur: Der Spotmarktpreis des originären Preisrisikos lässt sich als lineare Regression des

⁴⁹Vgl. Benninga u. a. (1985).

⁵⁰Vgl. Kawai u. Zilcha (1986).

⁵¹Vgl. Briys u. a. (1993).

⁵²Vgl. Adam-Müller (1993).

⁵³Vgl. Danthine (1978), S. 83, Fußnote 5.

⁵⁴Vgl. Rolfo (1980).

⁵⁵Vgl. Chavas u. Pope (1982).

⁵⁶Vgl. Honda (1983).

⁵⁷Vgl. Anderson u. Danthine (1981).

⁵⁸Vgl. Benninga u. a. (1983).

⁵⁹Das optimale Hedge-Ratio entspricht dem Steigungsmaß β einer linearen Regression des indirekten Preisrisikos auf das direkte Preisrisiko.

indirekten Preisrisikos darstellen und der Störterm der Regression kann vom indirekten Spotmarktpreis separiert werden.

Broll et al.⁶⁰ kommen in ihrem Modell zu dem Ergebnis, dass bei nicht perfekter Korrelation zwischen den Spotmärkten die Separationseigenschaft nicht erfüllt ist und eine indirekte Hedging-Möglichkeit zu einer geringeren Produktionsmenge führen kann als ohne Hedging-Möglichkeit.

Diese Arbeit bildet die direkten und die indirekten Absicherungsmöglichkeiten von Preisrisiken ab.

Fünfte Dimension – Art der Absicherungsinstrumente: Ein großer Teil der wissenschaftlichen Literatur zur optimalen Produktions- und Hedging-Entscheidung analysiert Forwards oder börsengehandelte Futures als Absicherungsgeschäfte ohne Transaktionskosten.⁶¹ Ein Forward-Kontrakt ist die bindende, vertragliche Vereinbarung, ein bestimmtes Gut zu einem bei Vertragsabschluss festgelegtem Preis, dem Terminpreis, zum Liefertermin in der Zukunft zu kaufen bzw. zu verkaufen. Die Zahlungen werden erst zum Liefertermin fällig. Forward-Kontrakte existieren auf Basiswerte wie Währungen, Edelmetalle, landwirtschaftliche Produkte, Energiehandelsprodukte wie Strom, Gas, Kohle, Emissionszertifikate. Forward-Kontrakte werden bilateral ausgehandelt, sind nicht standardisiert und können für beliebige Vertragsspezifikationen abgeschlossen werden.⁶²

Futures-Kontrakte unterscheiden sich von Forward-Kontrakten dadurch, dass sie an einer Börse gehandelt werden, standardisiert sind und bei Vertragsabschluss Zahlungen (Initial Margin) für an der Börse zu hinterlegende Sicherheiten anfallen. Die offene Futures-Position wird börsentäglich bewertet und abgerechnet (Mark-to-Market). Damit fallen während der Laufzeit des Futures und vor dem eigentlichen Liefertermin Zahlungen (Variation Margin) an.⁶³

Kaufoptionen (Verkaufsoptionen) verbriefen das Recht des Inhabers, in der Zukunft ein bestimmtes Gut zu einem bei Vertragsabschluss fixierten Basispreis (Strike) zu kaufen bzw. zu verkaufen. Für dieses Optionsrecht zahlt der Käufer dem Verkäufer bei Vertragsabschluss eine Optionsprämie. Übt der Optionskäufer seine Option aus, wird das Gut gegen Zahlung des Basispreises gekauft (verkauft).⁶⁴

⁶⁰Vgl. Broll u. a. (1995).

⁶¹Vgl. Danthine (1978), Holthausen (1979), Anderson u. Danthine (1981) und Kawai u. Zilcha (1986).

⁶²Vgl. Hull (2015), S. 52ff.

⁶³Vgl. Borchert u. a. (2006), S. 13ff.

⁶⁴Vgl. Hull (2015), S. 275ff.

1 Einleitung

Transaktionskosten von Forwards bzw. Futures berücksichtigen u.a. die Arbeiten von Chavas/Pope,⁶⁵ Lence⁶⁶ oder Woll/Weber.⁶⁷ Die Einführung von Transaktionskosten für Hedgingmaßnahmen führt in der Regel dazu, dass die zwei wesentlichen Literaturergebnisse - Separationseigenschaft und Vollabsicherung - nicht mehr herleitbar sind.

Tabelle (1.1) fasst die Literaturquellen für die Entwicklung eines eigenständigen Modellansatzes zusammen:

1.3 Forschungsfragen und Untersuchungsschritte

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung und Analyse eines partialanalytischen Modells zur Bestimmung optimaler Produktions- und Hedging-Entscheidungen, das die Besonderheiten der Ware Strom abbildet. Gleichwohl soll ein eigenständiges Modell entwickelt werden, das so einfach wie möglich und so komplex wie nötig ist und auch Anwendungspotenzial außerhalb des Strommarkts besitzt.

Der eigenständige Modellansatz soll neue Ergebnisse für die Theorie bieten und effiziente Handlungsempfehlungen für die energiewirtschaftliche Praxis geben. Ein Modellansatz ist im betrieblichen Kontext dann effizient, wenn der theoretische Mehrwert der Ergebnisse nicht durch den erhöhten Implementierungsaufwand der Handlungsempfehlungen in die betriebliche Organisation überkompensiert wird.

Die allgemeinen modelltheoretischen Ergebnisse werden als Anwendungsbeispiele auf Unternehmen der Energiewirtschaft übertragen. Eine Übertragung unter Berücksichtigung der Besonderheiten der Energiewirtschaft hat bislang nicht bzw. nur im eingeschränkten Rahmen stattgefunden. Diese Arbeit soll diese Forschungslücke schließen.

Fünf Fragenkomplexe werden aus Sicht der mikroökonomischen Theorie der Firma unter Risiko modelltheoretisch erörtert. Es wird der Versuch unternommen, die bestehende Literatur um energiewirtschaftliche Besonderheiten wie geringe Marktliquidität zu erweitern.

1. Welche Auswirkungen hat das Preisrisiko auf optimale Produktionsentscheidungen ohne Absicherungsmöglichkeit am Terminmarkt?

⁶⁵Vgl. Chavas u. Pope (1982).

⁶⁶Vgl. Lence (1995a).

⁶⁷Vgl. Woll u. Weber (2008).

1.3 Forschungsfragen und Untersuchungsschritte

Tabelle 1.1: Literaturüberblick: Optimale Produktions- und Hedging-Entscheidung - eigene Darstellung.
 Der eigene Modellierungsansatz orientiert sich vorrangig an den mit * gekennzeichneten Literaturquellen.
 Abkürzungen: EU – Expected Utility, MV – Mean-Variance, MZP – Mehrzeitpunkt, Hedgingmenge h , Menge indirektes Hedging h_i , Produktionsmenge x , TK – Transaktionskosten.

Quelle	Zielfkt.	Variablen	Ergebnisse	Kommentar
Johnson (1960)	MV	x	Hedge-Effektivität	Portfolio-Sicht
Baron (1970)	EU	x	x fällt mit steigender absoluter Risikoaversion	
Sandmo (1971)	EU	x	x fällt mit steigendem Risiko	Ausgangspunkt der Produktions- und Hedging-Literatur
Danthine (1978)	EU, MV	x, h	Separation, Full-Hedge-Theorem	Totalmodell
Holthausen (1979)*	EU, MV	x, h	Separation, Full-Hedge-Theorem	Erweiterung Sandmo-Modell
Anderson u. Danthine (1981)*	MV	h_i	Beta-Hedging	
Chavas u. Pope (1982)*	MV	x, h	keine Separation	TK Hedging
Benninga u. a. (1983)	EU	h_i	Beta-Hedging	Hedge-Ratio unabhängig von EU
Katz (1984)	EU	x, h	keine Separation	TK Hedging
Kawai u. Zilcha (1986)	EU	x, h	Separation, Full-Hedge-Theoreme	FX-Risiko
Lence (1995a)	EU, MV	x, h	keine Separation	TK Hedging
Broll u. a. (1995)	EU	x, h_i	keine Separation	negativer Produktionseffekt möglich
Woll u. Weber (2008)*	MV	h	keine Separation	TK Hedging, MZP-Modell
Ranganathan u. Ananthakumar (2014)*	MV	h	Ökon. Wert Hedging	Volumenrisiko, TK Hedging

1 Einleitung

2. Wie werden Produktionsentscheidungen durch die Existenz von Terminmärkten beeinflusst? Terminmärkte stellen mit Terminkontrakten ein Vehikel zum Transfer von Risiken zwischen Marktteilnehmern zur Verfügung. Mithilfe von Terminkontrakten kann das unternehmerische Risikoprofil verändert werden, was wiederum die Produktionsentscheidung beeinflussen kann. Es wird untersucht, wie Terminmarktinstrumente – simultan zur zu treffenden Produktionsentscheidung – optimal eingesetzt werden können, und welche Parameter beide Entscheidungen wie bestimmen.
3. Wie beeinflusst die Existenz von Transaktionskosten als Ausdruck von Illiquidität am Terminmarkt die Produktionsentscheidung sowie den Einsatz von Terminkontrakten? Wenn Transaktionskosten auf dem Terminmarkt den Einsatz von Terminkontrakten abschwächen, ist mit einer Wechselwirkung zur Produktionsentscheidung zu rechnen.
4. Welchen ökonomischen Vorteil – gemessen in Geldeinheiten – bietet der Zugang zu Terminmärkten mit unterschiedlicher Marktliquidität im Vergleich zur reinen Produktionsentscheidung ohne Terminmarktzugang?
5. Wie sensitiv reagieren die Modellergebnisse auf Veränderungen der Parameter? Komparativ-statische Sensitivitätsanalysen sind in der Literatur bislang selten zu finden und runden die Analysen ab.

Kapitel 2 befasst sich mit den Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements, mit Fokus auf die deutsche Energiewertschöpfungskette. Der Stromhandel - als zentrale Energie-Drehscheibe der Wertschöpfungskette - wird beschrieben mit seiner Aufgabe, volatiles Stromangebot und preisunelastische Stromnachfrage auszugleichen. Auch die Motivation unternehmerischen Risikomanagements und deren Umsetzung durch einen Risikomanagement-Prozess als Kontrollinstrument von Energiehandelsaktivitäten wird beleuchtet.

Kapitel 3 ist der Kern der Arbeit. Nach einer entscheidungstheoretischen Fundierung und aufbauend auf dem Literaturüberblick wird das Referenzmodell der optimalen Produktions- und Hedging-Entscheidung analysiert. Das Referenzmodell ist Ausgangspunkt für schrittweise Modellvariationen, die die Besonderheiten der Energiewirtschaft abbilden und versuchen, die bisherige Literatur zu ergänzen.

Die Arbeit schließt in Kapitel 4 mit einer Zusammenfassung der modelltheoretischen Ergebnisse und mit Handlungsempfehlungen für Unternehmen der Energiewirtschaft.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

2.1 Der Strommarkt in Deutschland

2.1.1 Einleitung

Europaweit sind die Energiemärkte seit knapp 20 Jahren einem starken Veränderungsprozess unterworfen. Die typischen Vertragsstrukturen in Deutschland vor der Liberalisierung waren Vollversorgungslieferungen mit physischer Erfüllung oder Zusatz- und Reservelieferungen. Kunden bezogen geographisch je Lieferstelle im jeweiligen Demarkationsgebiet ihren gesamten Strombedarf von einem Energieversorger. Diese Energieversorgungsunternehmen nahmen die Marktposition eines Gebietsmonopolisten ein.¹

Für den – eher selten eintretenden – Fall von Versorgungsengpässen schlossen die Energieversorger bilaterale handelsähnliche Verträge ab. Zwischen deutschen Energieversorgungsunternehmen und Wasserkraftwerksbetreibern aus der Schweiz und Österreich bestanden Verträge zur „Stromveredelung“. Ziel war es, Grundlaststrom aus Deutschland mithilfe von alpinen Pumpspeicherkraftwerken in Spitzenlaststrom zu verwandeln.

Die Preise langfristiger Stromlieferverträge mit industriellen Großkunden in Deutschland setzten sich häufig aus Leistungs- und gestaffelten Arbeitspreiskomponenten zusammen.² Über indexierte Arbeitspreise konnte das Energieversorgungsunternehmen variable Stromerzeugungskosten und damit verbundene Preisänderungsrisiken auf seine Kunden teilweise abwälzen. Die den Kunden eingeräumten Volumenflexibilitäten ließ der Energieversorger sich durch Leistungspreiskomponenten entlohnen. Regelungen zum Netzanschluss und zur Netznutzung gehörten standardmäßig zu jedem Vertrag. Die Stromlieferverträge spiegelten die Interessen der vertikal integrierten Wertschöpfungskette wider bzw. die Vertriebsabteilungen – als Hauptschnittstelle zum Kunden – reflektierten

¹Vgl. Borchert u. a. (2006), S. 7.

²Vgl. Borchert u. a. (2006), S. 7.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

in den Stromlieferverträgen auch die Anforderungen der beiden Wertschöpfungsstufen Erzeugung und Netz. Der deutsche Energiemarkt war trotz staatlicher Fach- und Preisaufsicht und einer kartellbehördlichen Missbrauchsaufsicht ein Verkäufermarkt.³

Die Ware Strom weist folgende Charakteristika auf:

- **Homogenität:** Strom ist in Deutschland ein homogenes Gut mit hoher Versorgungsqualität. Im internationalen Vergleich existieren teilweise erhebliche Unterschiede in der Versorgungsqualität.⁴ Aus technischer Sicht ist das Handelsprodukt Strom homogen, aus wirtschaftlicher Sicht – aufgrund der unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Marktpreise für Strom – nicht.⁵
- **Leistungsgebundenheit:** Strom ist ein Kuppelprodukt aus Energie und physischer Übertragung von der Erzeugung zum Kunden. Weder die Erzeugung noch der Stromtransport haben isoliert voneinander einen ökonomischen Wert.⁶ Gleichzeitig ist Strom ein Mischprodukt. Wenn sich der Zustand des Netzes ändert, können sich auch laufend die jeweiligen Generatoren der Erzeugung ändern. Kunden beziehen folglich ein Mischprodukt aus der Aktivität aller Generatoren, die ein Netz beliefern.⁷ Strom wird mithilfe von Übertragungs- bzw. Verteilnetzen transportiert. Mithilfe von Transformatoren wird der Strom aus dem Kraftwerk via Hoch- bzw. Höchstspannungsnetz mit 220 kV oder 380 kV zu den Verbrauchsschwerpunkten transportiert. Dabei erfüllt das Höchstspannungsnetz überregionale Übertragungsaufgaben zur Überbrückung großer Entfernungen. Vom Übertragungsnetz aus wird der Strom mithilfe von Verteilnetzen zum Netzanschluss des Kunden/Verbrauchers ins Mittel- bzw. Niederspannungsnetz geliefert.⁸
- **Nicht-Speicherbarkeit:** Stromerzeugung und Stromverbrauch⁹ erfolgen zeitgleich. Bislang ist Strom ökonomisch im großen Stil nicht speicherbar. Nach verbesserten Speichermöglichkeiten in Akkumulatoren bzw. Batterien wird intensiv geforscht. Mithilfe von Pumpspeicherwerken kann Strom in kinetische Energie umgewandelt werden, um diese zu einem späteren Zeitpunkt durch Turbinieren in Strom zurückzuwandeln.

³Vgl. Erdmann u. Zweifel (2010), S. 110.

⁴Vgl. Burger u. a. (2007), S. 44ff.

⁵Vgl. Erdmann u. Zweifel (2010), S. 293.

⁶Vgl. Ströbele u. a. (2010), S. 203.

⁷Vgl. Ströbele u. a. (2010), S. 203.

⁸Vgl. Konstantin (2017), S. 314f.

⁹Vgl. Lauth u. Kowalczyk (2015), S. 65ff. zum Grundsatz der Energieerhaltung – 1. Hauptsatz der Thermodynamik. Nur umgangssprachlich wird Strom erzeugt bzw. verbraucht. Strom wird in Licht, Wärme oder Bewegungsenergie umgewandelt bzw. entwertet.

2.1 Der Strommarkt in Deutschland

Im April 1998 hat Deutschland mit der Neufassung des deutschen Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) im Einklang mit der EU-Binnenmarktrichtlinie Elektrizität (96/92/EC Strom) die deutschen Strom- und Gasmärkte dereguliert. Der gesamte Strommarkt wurde nach dem Inkrafttreten des EnWG für den Wettbewerb freigegeben. Konstantin kommentiert knapp die wesentlichen Regelungen des EnWG:¹⁰

- **Freie Versorgerwahl:** Die Gebietsmonopole wurden aufgelöst und jeder Stromkunde soll die Möglichkeit haben, sich seinen Energieversorger frei zu wählen,
- **Entflechtung (unbundling):** Die ehemals vertikal-integrierten Wertschöpfungsstufen Erzeugung, Netz und Vertrieb/Handel spalteten sich organisatorisch, buchhalterisch und teilweise eigentumsrechtlich auf. Die neue Wertschöpfungsstufe Handel bekam mit zunehmender Liberalisierungsgeschwindigkeit eine gewichtigere Rolle in der Unternehmenssteuerung.
- **Diskriminierungsfreier Netzzugang:** Der Netzbereich blieb als natürliches Monopol erhalten, jedoch mit der Auflage, freien Netzzugang für alle Kunden zu gleichen Bedingungen einschließlich fairer und transparenter Netznutzungsentgelte zu gewährleisten.

Die Bereiche Erzeugung und Vertrieb wurden gleich zu Beginn der Liberalisierung der deutschen Strommärkte vollständig geöffnet. Der Netzbereich als natürliches Monopol blieb unter staatlicher Aufsicht, um den volkswirtschaftlich nicht sinnvollen, parallelen Netzausbau zu verhindern. Entflechtungsauflagen führten dazu, dass die deutschen Energieversorgungsunternehmen die Übertragungsnetze organisatorisch ausgründeten und teilweise verkauften, um eine stärkere wirtschaftliche Unabhängigkeit von den anderen Wertschöpfungsstufen zu erreichen.

Vor 2005 konnten die Marktteilnehmer in Deutschland die Regeln des freien Wettbewerbs relativ eigenständig gestalten. Erst im Jahr 2005 – also vergleichsweise spät, wenn man auf andere europäische Länder schaut – wurde in Deutschland die Bundesnetzagentur (BNetzA) als unabhängiges Regulierungsorgan installiert. Aufgabe der BNetzA ist es, die Rahmenbedingungen für einen freien und transparenten Strommarkt zu verbessern, damit der Strommarkt seine drei wesentlichen Funktionen erfüllen kann:¹¹

- **Allokationsfunktion:** Der Marktpreis lenkt knappe Ressourcen wie Arbeit oder Kapital effizient.

¹⁰Vgl. Konstantin (2017), S. 476ff.

¹¹Vgl. Brehme (2013), S. 44ff.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

- **Koordinationsfunktion:** Der Marktpreis stimmt die Angebots- und nachfrageseitigen Pläne der Marktteilnehmer aufeinander ab.
- **Indikatorfunktion:** Der Marktpreis dient als Maß für die Knappheit eines Gutes.

Durch die Liberalisierung spalteten sich in Deutschland ehemals vertikal-integrierte Gebietsmonopole – mit den Wertschöpfungsstufen Erzeugung, Netz und Vertrieb – organisatorisch auf. Die neue Wertschöpfungsstufe Handel erhielt eine mit zunehmender Liberalisierungsgeschwindigkeit gewichtigere Rolle. Durch den beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien wird sich die Bedeutung aller Wertschöpfungsstufen – auch die des Handels – im Zeitablauf verändern. Für die Preisbestimmung am Großhandelsmarkt werden Wetter- und Klimafaktoren wie Sonneneinstrahlung oder Windgeschwindigkeiten an Bedeutung gewinnen.¹²

2.1.2 Stromangebot – die fluktuierende Merit-Order der Erzeugung

Die wesentliche Aufgabe der Erzeugungssparte in Unternehmen der Energiewirtschaft ist der Bau und Betrieb von Kraftwerken. Mithilfe von Kraftwerken werden Primärenergieträger wie Kohle, Gas, Uran, Öl bzw. Wind- und Solarenergie in Sekundärenergieträger wie Strom und Wärme umgewandelt. Den Strompreiserlösen stehen auf der Erzeugungsseite die Kosten für Brennstoffe bzw. Primärenergieträger und CO₂-Emissionszertifikate, Instandhaltungs- und Kapitalkosten gegenüber. Die Kostenstrukturen von Kraftwerkstechnologien unterscheiden sich. Grundsätzlich gilt, dass Kraftwerke mit hohen Fixkosten Strom zu niedrigen variablen Kosten produzieren und umgekehrt.

Kraftwerke lassen sich nach der Art der zur Energieumwandlung genutzten Primärenergie und des verwendeten Umwandlungsprozesses kategorisieren. Darüber hinaus wird abhängig von den Benutzungsstunden nach Grund-, Mittel-, Spitzen- und Reserverlastkraftwerken differenziert. Die Kennzahl Benutzungsstunden¹³ t in h/a ist definiert als Quotient aus der Jahresproduktion in MWh und der maximalen Nenn-Leistung in MW. Die Kennzahl beantwortet die Frage: Wie viele Stunden pro Jahr benötigt ein Kraftwerk bei maximaler Leistung, um die Jahresproduktion Strom zu erzeugen?¹⁴

¹²Vgl. Schiffer (2017), S. 327ff.

¹³Vgl. Konstantin (2017), S. 123ff. Benutzungsstunden werden im Schrifttum auch als Volllaststunden bezeichnet. In den letzten Jahren sind Benutzungsstunden der fossilen Kraftwerkstypen durch die vorrangige Einspeisung der EE-Anlagen teilweise erheblich gesunken.

¹⁴Vgl. Konstantin (2017), S. 123f.

2.1 Der Strommarkt in Deutschland

In der Literatur findet sich die Einteilung nach Kraftwerkstypen:¹⁵

- **Thermische Grundlastkraftwerke**, wie Kern- oder Braunkohlekraftwerke, mit Benutzungsstunden von $t > 7000 \text{ h/a}$ haben lange Anfahrzeiten bis zur vollen Leistung, sind in der Regel mit konstanter Leistung in Betrieb und werden grundsätzlich nur zu Revisions- bzw. Wartungszwecken abgeschaltet.
- **Mittellastkraftwerke**, wie Steinkohlekraftwerke, mit Benutzungsstunden t zwischen $4.500 - 5.500 \text{ h/a}$ sind bei hoher Netzlast zu Werkzeiten in Betrieb und werden in der Nacht bzw. an Wochenenden heruntergefahren.
- **Spitzenlastkraftwerke**, wie Gas- oder Pumpspeicherkraftwerke, haben Benutzungsstunden von $t < 1.250 \text{ h/a}$, sehr kurze Anfahrzeiten und decken Lastspitzen ab.
- **Reservekraftwerke** sind häufig ältere Anlagen, die bei einem plötzlichen Kraftwerksausfall, einer geplanten Kraftwerksrevision oder einem plötzlichen Lastanstieg an- bzw. hochgefahren werden. Die sogenannte Sofortreserve speist sich aus Reservekraftwerken und muss den Ausfall des größten Kraftwerkblocks kompensieren können.¹⁶

Auf der Angebotsseite des Großhandelsmarktes für Strom kommen primär Kraftwerksbetreiber zusammen. Seit Einführung des EEG stehen private Haushalte und gewerbliche Industriekunden als Aggregate über die volatile EE-Einspeisung auf dem Großhandelsmarkt in direkter Konkurrenz zur Stromproduktion der Großanbieter. Die schwer prognostizierbare EE-Einspeisung verdrängt partiell die thermischen Kraftwerke aus dem Markt. Dies gilt insbesondere für Gaskraftwerke, die mit steigender EE-Einspeisung sinkende Strommengen produzieren.

Das kurzfristige Stromangebot wird von vielen Faktoren beeinflusst. Der wichtigste Faktor ist die installierte Kraftwerkskapazität. Allerdings steht aufgrund von außerplanmäßigen Nichtverfügbarkeiten oder geplanten Revisionen (zwecks Wartung und Reparatur) zu keinem Zeitpunkt die installierte Kraftwerkskapazität als Stromangebot zur Verfügung. Die Marktpreise der Primärenergieträger für Kohle und Gas, bereinigt um den kraftwerksspezifischen Wirkungsgrad, bestimmen den Großteil der variablen Erzeugungskosten. Weitere Treiber der variablen Kosten sind die Preise für CO₂-Emissionszertifikate, bereinigt um die kraftwerksspezifische CO₂-Intensität. Änderungen der Primärenergie- und CO₂-Zertifikatspreise beeinflussen die Merit-Order bzw. sorgen für eine Neustrukturierung

¹⁵Vgl. Konstantin (2017), S. 122f.

¹⁶Vgl. Sterner u. Stadler (2013), S. 60. (n-1)-Sicherheit bedeutet, dass zu keinem Zeitpunkt der Ausfall eines Betriebsmittels (Kraftwerk, Leitung, Transformator etc.) die Versorgungssicherheit gefährdet.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

der Angebotsfunktion. Als Merit-Order werden die nach ihren variablen Grenzkosten aufsteigend sortierten, kumulierten Erzeugungskapazitäten bezeichnet.¹⁷

Photovoltaik- und Windkraftanlagen produzieren Strom zu Grenzkosten nahe Null. Ihre Produktionsmenge ist volatil und genießt laut EEG grundsätzlichen Einspeisevorrang. Da die zukünftigen Sonnenstunden oder Windgeschwindigkeiten unsicher sind, fällt es Betreibern von fossilen Kraftwerken mit steigender Installation von EE-Anlagen zunehmend schwerer, die genaue Position ihrer Kraftwerke in der Merit-Order abzuschätzen. Nicht-EE-Anlagen bzw. konventionelle Kraftwerke stellen das im Jahresmittel kleiner werdende Residualangebot nach Abzug des Stromangebots aus EE-Anlagen zur Verfügung. Laufwasser-, Pumpwasser- und Kernkraftwerke sind weitere Bestandteile der Angebotsfunktion.¹⁸

Technische Restriktionen thermischer Kraftwerke erzeugen dynamische Interdependenzen in der Angebotsfunktion, die die vereinfachende Merit-Order-Darstellung nicht berücksichtigt. Für die Kraftwerkseinsatzplanung eines Stromproduzenten sind technische Restriktionen wie Anfahr- und Abfahrzeiten und damit verbundene Kosten von Bedeutung. Diese technischen Restriktionen sind eine Erklärung für kurzfristig auftretende, negative Strompreise auf dem Spotmarkt.¹⁹

Der deutsche Strommarkt darf wegen seiner zentralen Lage in Kontinentaleuropa nicht als ein geographisch isoliertes Marktgebiet interpretiert werden. Die bestehenden Hoch- und Höchstspannungsleitungen im europäischen Verbundnetz und die daraus resultierenden sogenannten Cross-Border-Handelsmöglichkeiten wirken sich ebenfalls auf den deutschen Strommarkt aus. Bei unbegrenzten und kostenlosen Übertragungskapazitäten zwischen den europäischen Staaten würde sich eine gesamteuropäische Merit-Order ergeben. Das Ziel eines europäischen Strombinnenmarkts wäre damit angebotsseitig erreicht.

2.1.3 Die preisunelastische Stromnachfrage der Kunden

Zu Beginn der Strommarktliberalisierung und der damit verbundenen Möglichkeit für Kunden, ihren Stromversorger frei zu wählen, rückten in den Vertriebsgesellschaften der EVU neue Absatzstrategien in den Vordergrund. Obwohl Strom technisch als ein weitgehend homogenes Gut vertrieben wird, wurde zu Beginn der Liberalisierung auf die Etablierung eigener Strommarken mithilfe von umfangreichen Marketingaktivitäten Wert gelegt. Diese Absatzstrategien zielten darauf ab, den alten Kundenstamm im eigenen,

¹⁷Vgl. Ströbele u. a. (2010), S. 224ff.

¹⁸Vgl. Schiffer (2017), S. 266ff.

¹⁹Vgl. Schiffer (2017), S. 363ff.

2.1 Der Strommarkt in Deutschland

ehemaligen Demarkationsgebiet zu erhalten und gleichzeitig neue Kunden aus fremden Demarkationsgebieten zu gewinnen. Dabei ging es in erster Linie um den Aufbau eines großen Kundenportfolios, weniger um die Erzielung von positiven Deckungsbeiträgen.²⁰

Inzwischen verfolgen die Vertriebsgesellschaften der EVU eine wertorientierte Preisgestaltung, wobei sich die Arbeitspreiskomponente in den Lieferverträgen an der jeweils aktuellen Terminpreiskurve des Stromgroßhandelsmarkts orientiert. Gesetzlich auferlegte Lasten werden, soweit dies mit der zunehmenden Konkurrenz vereinbar ist, auf die Kunden überwältigt.²¹ Bei der Strombeschaffung sind als Vertragsarten relevant:²²

- Netzanschlussvertrag,
- Netznutzungsvertrag,
- Rahmenvertrag Netznutzung,
- Bilanzkreisvertrag und
- Stromliefervertrag.

Sogenannte Vollversorgungsverträge, die alle obigen Vertragskomponenten abdecken, sind im liberalisierten Markt weiterhin für viele kleine und mittelständische Kunden üblich.²³

Neben der Optimierung der Kostenstruktur und der damit verbundenen Überprüfung der Effizienz der vertrieblichen Prozesse liegt der Vertriebsfokus auf der Marktanalyse, der Marktsegmentierung, der Neuproduktentwicklung sowie deren Bepreisungsmechanismen. Zentrales Element der Vertriebsstrategie bildet ein nach Kundensegmenten differenziertes Leistungsspektrum:²⁴

- **Haushaltskunden:** Zu Beginn der Liberalisierung wurde das preissensitive Verhalten der Haushaltskunden und deren Wechselbereitschaft überschätzt. Die Kundenbindung an den bestehenden Versorger ist weiterhin hoch, obwohl heute internetbasierte Stromtarifrechner bzw. Vergleichsportale für steigende Preistransparenz sorgen. Aktuell Bedeutung für das EVU haben die kostenminimale Abwicklung und Abrechnung sowie die Stärkung des Kundenvertrauens.²⁵
- **Mittlere bis große Geschäftskunden:** In diesem Kundensegment fand zu Beginn der Liberalisierung ein Preiswettbewerb um Marktanteile statt, wobei auf Einzelvertragsbasis durchaus auch für das EVU negative Deckungsbeiträge akzeptiert wurden.

²⁰Vgl. Schiffer (2017), S. 316ff.

²¹Vgl. Schiffer (2017), S. 317.

²²Vgl. Konstantin (2017), S. 449f.

²³Vgl. Konstantin (2017), S. 456f.

²⁴Vgl. Schiffer (2017), S. 317ff.

²⁵Vgl. Schiffer (2017), S. 297f.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

Mittlerweile werden branchenspezifische, modulare Produkt- und Dienstleistungskonzepte zu positiven Deckungsbeiträgen angeboten.²⁶

- **Industrielle Großkunden:** Zu Beginn der Liberalisierung wechselten viele Großkunden ihren Versorger bzw. stiegen – abhängig von der Energieintensität des jeweiligen Industriezweiges – in die Energiebeschaffung mit eigenen Bilanzkreisen ein.²⁷ Mittlerweile werden in diesem Segment wieder kundenspezifische Angebote, wie integrierte Versorgungs- oder Energiesystemlösungen oder Infrastrukturmanagementlösungen angeboten und nachgefragt.²⁸
- **Stadtwerke:** Dieses Kundensegment wird mithilfe umfangreicher Dienstleistungsangebote umworben und bedient. Über Konzepte wie die strukturierte Beschaffung steuern viele Stadtwerke ihr Preisrisiko selbst. Bei der strukturierten Beschaffung erhält das Stadtwerk indirekten Handelszugang über die Vertriebs- oder Handelsabteilung des Energieversorgungsunternehmens und kann zu aktuellen Marktpreisen, zuzüglich einer Transaktionskostenpauschale, Teilprodukte seines erwarteten Lastprofils kaufen oder zurück verkaufen.

Insgesamt hat sich durch die Liberalisierung die Wettbewerbsintensität in allen Kundensegmenten verschärft. Die Vertriebsorganisationen der EVU sind als Profit-Center organisiert, kaufen zu Großhandelsmarktkonditionen Strom ein und berücksichtigen auf Kundenseite – durch Preisaufschläge bei der Angebotslegung – etwaige Preis-, Mengen- und Kreditrisiken.²⁹

Der Vertrieb agiert heute auf einem Käufermarkt mit zunehmendem Preisdruck.³⁰ Nicht nur die Energieversorgungsunternehmen, auch die Kunden der unterschiedlichen Segmente haben inzwischen gelernt, sich an die veränderten Wettbewerbsbedingungen anzupassen. Für die Vertriebsabteilungen bestand die Herausforderung darin, zu erkennen, welcher Kunde in welches Kundensegment einzuordnen ist. Kunden mit eigenen Handelsabteilungen, eigenen Bilanzkreisen oder Eigenerzeugung sind heute weniger Vertriebskunden, sondern eher Handelspartner und Teilnehmer am Großhandelsmarkt. Besonders für große Stadtwerke bzw. Zusammenschlüsse und Kooperationen von Stadtwerken hat sich die Energiehandelstätigkeit zum eigenen strategischen Betätigungsfeld entwickelt.³¹

²⁶Vgl. Schiffer (2017), S. 298.

²⁷Als Beispiel kann die Stahl- und Aluminiumindustrie angeführt werden.

²⁸Vgl. Schiffer (2017), S. 298.

²⁹Vgl. Strohbücker (2011), S. 18f.

³⁰Vgl. Strohbücker (2011), S. 13f.

³¹Vgl. Schiffer (2017), S. 305f.

2.1.4 Der Stromhandel als zentrale Energie-Drehscheibe

Stromhandelsaktivitäten zwischen zwei rational handelnden und gut informierten Marktteilnehmern sind aus volkswirtschaftlicher Sicht wohlfahrtssteigernd. Die Handelspartner werden auf freiwilliger Basis nur dann der Transaktion zustimmen, wenn sie dadurch nicht schlechter gestellt werden. Werden Handelstransaktionen solange durchgeführt bis kein Marktteilnehmer mehr durch einen Tausch bessergestellt werden kann, ohne einen anderen Marktteilnehmer schlechter zu stellen, wird ein pareto-optimales Marktergebnis erzielt.³²

Da bei Handelstransaktionen Transaktionskosten anfallen, werden Marktakteure nur dann auf dem Großhandelsmarkt aktiv, wenn sie ihre unternehmerische Zielgröße unter Berücksichtigung der Transaktionskosten verbessern. Mit anderen Worten: Hohe Transaktionskosten behindern die wohlfahrtssteigernde Wirkung von Handelsgeschäften. Je besser die institutionelle Ausgestaltung der Handelsmärkte (das Marktdesign) ist, desto niedriger sind die Transaktionskosten und desto mehr wohlfahrtssteigernde Handelsaktivitäten werden getätigt.³³

Jede ökonomisch und juristisch eindeutig festgelegte Transaktion auf dem Großhandelsmarkt für Strom lässt sich mithilfe dieser Charakteristika³⁴ Vertragsparteien, Produkt, Lieferort, Lieferzeitraum und Preis grob beschreiben. Je präziser und transparenter die Charakteristika der Stromhandelsprodukte in ihrer Bedeutung für beide Vertragsparteien sind, desto geringer sind die Transaktionskosten und desto effizienter ist das Marktdesign.³⁵

Im liberalisierten deutschen Energiemarkt hat sich ein Geschäftsmodell für den Energiehändler herauskristallisiert, das seinen Ursprung im angelsächsischen Energiemarkt hat. Der sogenannte „energy merchant“, also Energiegroßhändler, bietet neben dem Eigenhandelsgeschäft (proprietärer Handel) als Hauptgeschäftsziel, zusätzlich zur reinen Energiebeschaffung und -vermarktung neue Produkte und Dienstleistungen, wie Handelszugang, Bilanzkreismanagement etc. an.³⁶

Die Organisationseinheit „Stromhandel“ agiert als Intermediär zwischen den Organisationseinheiten „Erzeugung“, „Vertrieb“ bzw. den externen Kunden. Als solche erbringt sie die aus der Bankbetriebslehre bekannten klassischen Transformationsfunktionen.³⁷

³²Vgl. Ströbele u. a. (2010), S. 69ff.

³³Vgl. Ströbele u. a. (2010), S. 84f.

³⁴Vgl. dazu die Aufzählung aus Kapitel 2.1.3.

³⁵Vgl. Ströbele u. a. (2010), S. 84f.

³⁶Vgl. Spieker (2010), S.125.

³⁷Vgl. Brehme (2013), S. 44ff.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

Spieker spricht in diesem Zusammenhang vom Energiehändler als Re-Integrator der Wertschöpfungskette.³⁸

Die Handelsabteilung übernimmt in der Rolle des Re-Integrators der Wertschöpfungskette drei Aufgaben:³⁹

- **Die Fristentransformation**⁴⁰ gleicht die unterschiedlichen Laufzeitinteressen zwischen Erzeuger und Vertrieb bzw. deren Kunden aus. Ein Kraftwerksbetreiber möchte seine geplante Stromproduktion langfristig verkaufen. Die Kunden des Vertriebs wiederum sind nur an Stromlieferverträgen mit jeweils kurzer Laufzeit interessiert. Beide kommen trotzdem ins Geschäft, denn der Energiehändler – als Intermediär – kann über den Terminmarkt die geplante langfristige Stromproduktion verkaufen und gleichzeitig den kurzlaufenden Strombedarf der Kunden zu aktuellen Marktpreisen beschaffen. Die Residualposition aus Kauf und Verkauf verbleibt zu Marktpreisen beim Stromhändler.
- **Die Losgrößentransformation**⁴¹ zielt auf den Ausgleich von unterschiedlichen Volumensinteressen (Losen) zwischen Erzeuger und Vertrieb. Während der Stromproduzent seine gesamte geplante Stromproduktion möglicherweise verkaufen möchte, werden auf Kundenseite häufig nur kleinere Lose nachgefragt. Entsprechende Liquidität am Terminmarkt vorausgesetzt, verkauft der Stromhändler die Nettoposition aus Stromproduktion und aggregierter Stromnachfrage der Kunden am Terminmarkt.
- Über die **Risikotransformation**⁴² werden Risiken umgewandelt mit dem Ziel, unterschiedliche Vorstellungen von Stromproduzent und Kunde miteinander in Einklang zu bringen. So kann beispielsweise durch einen Terminverkauf der Jahresproduktion das Preisrisiko des Produzenten in ein Kreditrisiko verwandelt werden. Mögliche Instrumente der Risikotransformation sind Diversifikation, Neuproduktentwicklung oder Vertragsgestaltung. Durch die Entwicklung neuer Produkte werden Risiken maßgeschneidert auf Kundenbedürfnisse transformiert und transferiert.

Stromhandelsprodukte

Der liberalisierte Großhandelsmarkt für Strom bietet Marktteilnehmern eine große Auswahl an Produkten, die sich nach unterschiedlichen Kriterien kategorisieren lassen.

Ein erstes Merkmal ist die Differenzierung nach Spot- und Terminmarkttransaktionen:

³⁸Vgl. Spieker (2010), S.129.

³⁹Vgl. Brehme (2013), S. 44ff.

⁴⁰Vgl. Grill u. a. (2013), S. 543.

⁴¹Vgl. Grill u. a. (2013), S. 13, auch Betragstransformation genannt.

⁴²Vgl. Grill u. a. (2013), S. 13.

2.1 Der Strommarkt in Deutschland

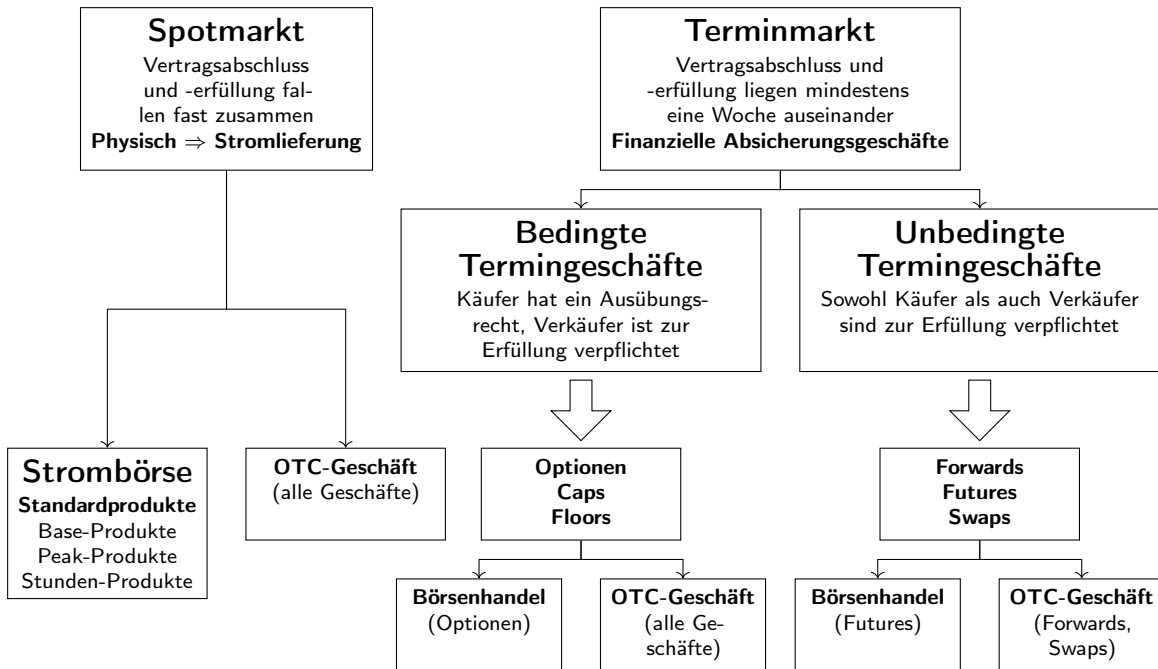


Abbildung 2.1: Handelsproduktkategorien.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Konstantin (2017), S. 434.

- **Spotmarkt:** Liegt zwischen Vertragsabschluss und Erfüllung nur eine kurze Zeitspanne, dann spricht man von einer Spotmarkt-Transaktion.⁴³ Auf dem Finanzmarkt ist im Vergleich zum Strommarkt nur bei sofortiger Erfüllung bei Vertragsabschluss eine Spotmarkt- bzw. Kassamarkttransaktion gegeben. Auf dem Spotmarkt werden die Produkte Day-Ahead (heute für morgen) und Intraday gehandelt.
- **Terminmarkt:** Liegt zwischen Vertragsabschluss und Erfüllung eine Zeitspanne von mehr als zwei Tagen, dann liegt eine Terminmarkttransaktion vor. Die Hauptprodukte am Terminmarkt sind Terminfixgeschäfte: Forwards und Futures.

Als weiteres Merkmal dient die Differenzierung in börsliche und außerbörsliche Transaktionen, wobei dem sogenannten OTC-Clearing⁴⁴ eine Schnittstellenfunktion zukommt.⁴⁵ Unter Clearing wird dabei das Feststellen gegenseitiger Forderungen und Verbindlichkeiten sowie Lieferverpflichtungen der Handelspartner verstanden. Der Clearing-Prozess wird in der Regel durch ein Clearing-Haus oder eine Clearing-Bank dargestellt und besteht aus

⁴³Vgl. Viehmann (2017) mit einem Überblick über den aktuellen Stand des deutschen Kurzfrist-Strommarkts.

⁴⁴Registrierung von außerbörslichen Transaktionen als OTC-Transaktionen in Börsen-Handelssystemen, z.B. EEX-Handelssystemen.

⁴⁵Vgl. Bundesnetzagentur u. Bundeskartellamt (2017), S. 179.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

der Bestätigung der Handelsabschlüsse (Confirmation) und der Abwicklung der Zahlung bzw. Lieferung (Settlement).⁴⁶

Unterscheidung zwischen Börsen- und OTC-Handel:

- **Börsenhandel:** An der Strombörse werden standardisierte Kontrakte gehandelt, wobei das Kreditrisiko vom Clearing-Haus übernommen wird. Das Verfahren der Preisfeststellung an der Börse ist allen Marktteilnehmern bekannt. Es existiert zu einem Zeitpunkt für einen Kontrakt genau ein markträumender Preis, der durch das Clearing-Haus festgelegt wird. Zentrale Aufgabe der Strombörse ist es, allen Marktteilnehmern einen fairen und gleichberechtigten Zugang zum Handel mit Stromprodukten zu ermöglichen. Der Börsenmarktplatz soll dabei transparent sowie finanziell, rechtlich und technisch sicher sein.⁴⁷
- **OTC-Handel:** Mithilfe von Brokern als Intermediären werden die Vertragskonditionen sowohl für standardisierte als auch für nicht standardisierte Produkte bilateral zwischen zwei Parteien ausgehandelt. Der grundsätzliche Vorteil des OTC-Handels im Vergleich zum Börsenhandel liegt einerseits in der bedeutend flexibleren vertraglichen Ausgestaltung. Andererseits beinhaltet das OTC-Geschäft höhere Kreditausfallrisiken. Bei exotischen OTC-Produkten ist die Marktliquidität deutlich geringer als bei börsengehandelten Produkten. An OTC-Märkten können für ein Produkt zu einem Zeitpunkt verschiedene Preise existieren.

Darüber hinaus kann zwischen physischer und finanzieller Erfüllung bei Handelsprodukten unterschieden werden:

- Bei einer **physischen Erfüllung** wird Strom gegen Geldeinheiten [GE], bspw. EUR getauscht. Spotmärkte sind in der Regel Märkte mit physischer Erfüllung.
- **Finanzielle Erfüllung:** Im Gegensatz dazu sind Terminmärkte trotz möglicher physischer Erfüllung grundsätzlich finanzielle Märkte, die auf einen rein monetären Ausgleich abzielen.

Ein erfolgreicher Börsenhandel zeichnet sich durch eine hohe Liquidität aus. Indikatoren für eine hohe Liquidität sind hohe, möglichst im Zeitablauf steigende Handelsvolumina der getätigten Geschäfte sowie eine große Anzahl an Marktteilnehmern.⁴⁸ Zusätzlich wird als weiterer Indikator von Marktliquidität eine geringe Geld-Briefspanne (Bid-Offer-Spread) herangezogen.

⁴⁶Vgl. Konstantin (2017), S. 449.

⁴⁷Vgl. Konstantin (2017), S. 434f.

⁴⁸Vgl. Konstantin (2017), S. 435.

2.1 Der Strommarkt in Deutschland

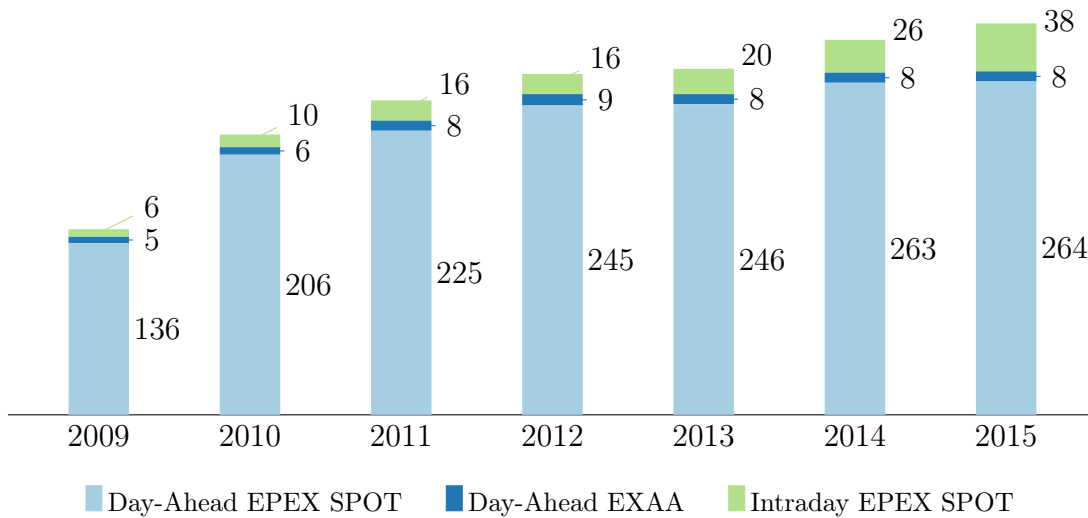


Abbildung 2.2: Handelsvolumina in TWh.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bundesnetzagentur u. Bundeskartellamt (2017), Monitoringbericht 2016, S. 434.

Abbildung (2.2) zeigt die Entwicklung des Handelsvolumens gemessen in TWh am Spotmarkt. Im Berichtsjahr 2015 ist das Handelsvolumen im Vergleich zum Vorjahr angestiegen, wobei das Handelsvolumen am Intradaymarkt um ca. 45% zugelegt hat.

Abbildung (2.3) zeigt die starken Preisschwankungen der stündlichen Spotmarktpreisen für Strom, gehandelt an der EPEX der Jahre 2016 und Anfang 2017 mit Preisspitzen in beide Richtungen. Negative Preise am Spotmarkt entstehen durch technische Restriktionen bei thermischen Kraftwerken gepaart mit volatiler EE-Einspeisung.

Abbildung (2.4) zeigt den Einfluss der EE-Einspeisung an einem sonnenreichen Tag im Mai im Vergleich zu einem Tag im Januar.

Auf Gesamtmarktebene betrachtet schwankt die aggregierte Stromnachfrage über alle Kundensegmente hinweg im Zeitablauf erheblich und folgt Saisonmustern mit unterschiedlicher Granularität: täglich, wöchentlich, monatlich, vierteljährlich und jährlich.

Bei hoher Stromnachfrage, z.B. an Werktagen außerhalb der Ferienzeit, gepaart mit niedriger Einspeisung von EE-Anlagen determinieren Kraftwerke mit hohen variablen Kosten den Spotmarktpreis. Derartige Spitzenlastkraftwerke produzieren nicht zu Schwachlastzeiten, also Zeiten mit niedriger Nachfrage, wie bspw. an Wochenenden, Feiertagen oder Brückentagen, weil andere kostengünstigere Erzeugungsanlagen die Nachfrage befriedigen können.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

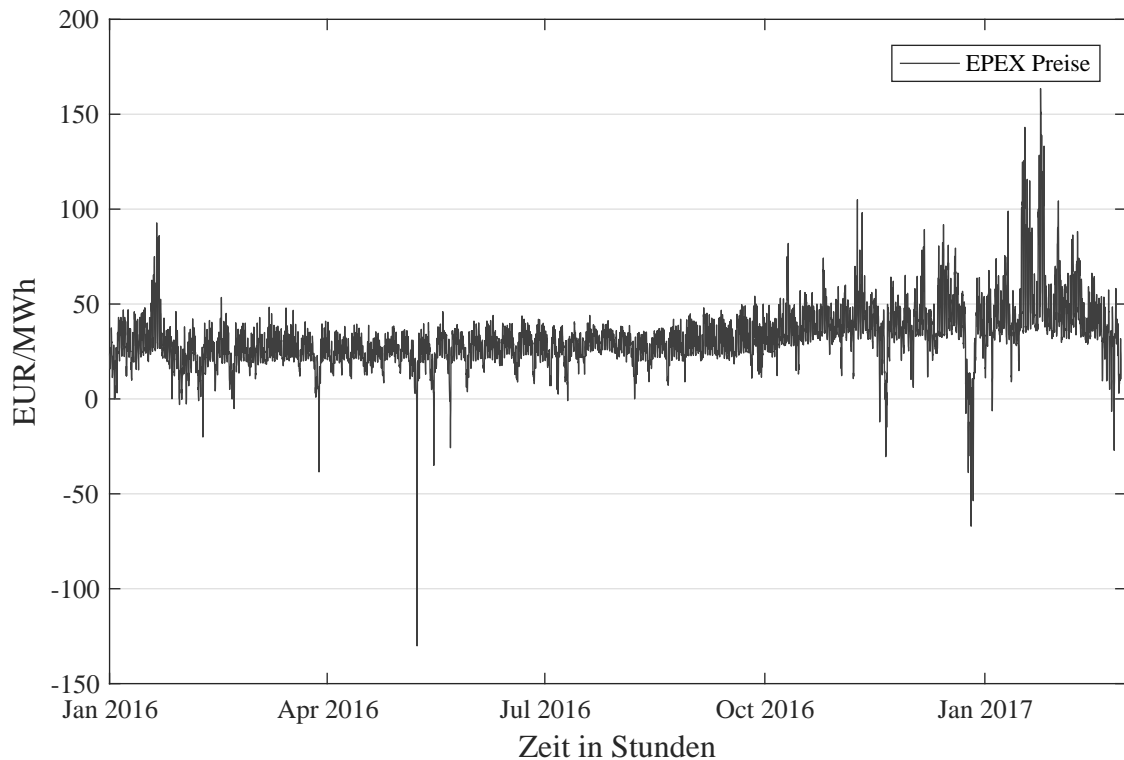


Abbildung 2.3: Quelle: Eigene Abbildung der EPEX-Stundenpreise für 2016 – 2017.

Abbildung (2.5) schematisiert Angebot und Nachfrage auf dem Spotmarkt für Strom. Analog zu anderen Gütermärkten ergibt sich der Gleichgewichtspreis im Schnittpunkt von Angebots- und Nachfragefunktion. Das Kraftwerk als Grenzpreisanbieter setzt den markträumenden Preis P_1 . Gerade die sehr volatile vorrangige Einspeisung der EE-Anlagen macht einen wesentlichen Teil der Marktpreisvolatilität aus.

Mit der Deregulierung der Strommärkte ist eine neue Wertschöpfungsstufe entstanden: der Handel. Sie wird in der Unternehmens- und Risikosteuerung eine immer wichtigere Rolle spielen.

2.1 Der Strommarkt in Deutschland

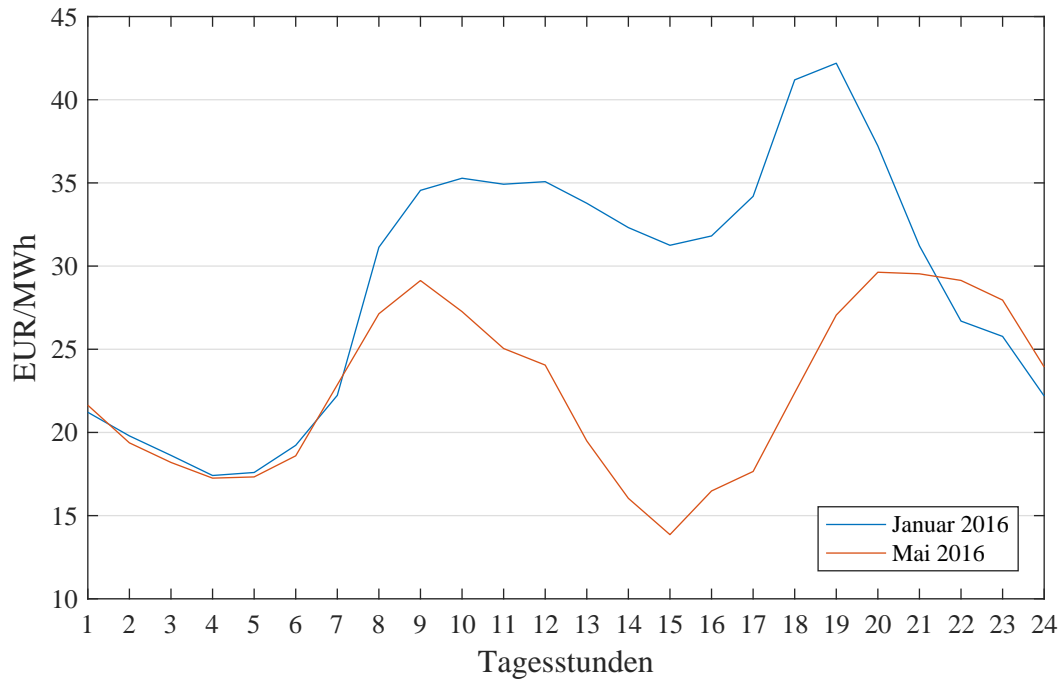


Abbildung 2.4: Quelle: Eigene Abbildung der EPEX Stundenpreise für Januar und Mai 2016. Die hohe EE-Einspeisung – insbesondere durch PV-Anlagen – drückt die Stundenpreise im Mai um die Tagesmitte.

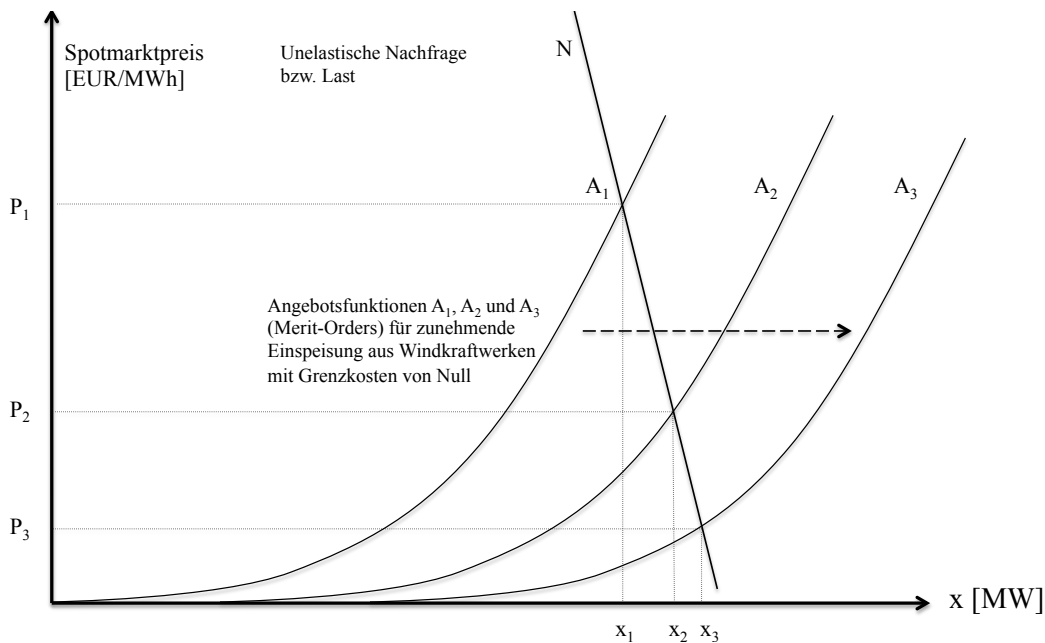


Abbildung 2.5: Merit-Order-Effekt: Bei unelastischer Nachfrage N verschiebt sich mit steigender Windenergie- oder PV-Einspeisung die Angebotskurve von A_1 zu A_2 bzw. A_3 . Ceteris paribus ergibt sich als neuer Gleichgewichtspreis P_2 bzw. P_3 . Wetterrisiken erzeugen über den Merit-Order-Effekt Marktpreisrisiken. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Brehme (2013), S. 65.

2.2 Risikomanagement

Wettbewerb setzt unternehmerische Gewinne diversen Risiken aus. Risikomanagement gehört deshalb zu jeder modernen Unternehmensführung, um Gewinne gegen Risiken abzusichern (Hedging).⁴⁹

Bei Franke und Hax findet sich eine sehr breit gefasste Definition des Begriffs Risikomanagement „als die Gesamtheit der Investitions- und Finanzierungsmaßnahmen mit dem Ziel, die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Unternehmenserfolgs zu optimieren.“⁵⁰

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff Risikomanagement finanzwirtschaftlich enger gefasst und beschränkt sich auf den Einsatz von Termingeschäften als Instrument der Risikosteuerung. Dabei wird Risikomanagement verstanden als ein Abwägen von Ertrag und Risiken für den Unternehmensgewinn. Risikomanagement berücksichtigt die realwirtschaftlichen Effekte von Produktionsentscheidungen sowie deren Wechselwirkungen mit dem Einsatz von Termingeschäften.

2.2.1 Die Motivation unternehmerischen Risikomanagements

Diverse Literaturbeiträge beschäftigen sich mit der auf den ersten Blick wenig offensichtlichen Frage, ob ein Unternehmen Risikomanagement überhaupt betreiben sollte. Wenn Risikomanagement die zukünftigen Gewinne durch Termingeschäfte beeinflusst, dann ergibt sich in Analogie zur Irrelevanz der Finanzierung nach Modigliani und Miller⁵¹ die Irrelevanz der Risikomanagements auf unternehmerischer Ebene.⁵²

Modigliani und Miller konnten – unter den Annahmen eines vollkommenen Kapitalmarkts ohne Steuern, ohne Transaktionskosten, bei unbegrenzter Anlage- bzw. Kreditaufnahmemöglichkeit zum einheitlichen Zinssatz und ohne Informationsasymmetrien – nachweisen, dass der Unternehmenswert unabhängig von der Kapitalstruktur des Unternehmens ist. Unter den gleichen Annahmen kann auch die Irrelevanz unternehmerischer Hedgingaktivitäten auf den Unternehmenswert nachgewiesen werden. Die Idee dieses Analogieschlusses besteht darin, dass jeder Investor bzw. Aktionär zu den gleichen Konditionen wie das Unternehmen seine Hedging-Geschäfte auf individueller Ebene vornehmen kann und damit unternehmerische Absicherungsgeschäfte keinen Mehrwert kreieren. In

⁴⁹Vgl. Kürsten (2006), S. 3ff.

⁵⁰Franke u. Hax (2009), S. 629.

⁵¹Vgl. Modigliani u. Miller (1958).

⁵²Vgl. Franke u. Hax (2009), S. 631.

diesem Kontext führt jeder Investor eigene Hedgingaktivitäten durch – abhängig von seiner individuellen Nutzenfunktion und der einhergehenden Risikoeinstellung.

Werden die Annahmen eines vollkommenen Kapitalmarktes⁵³ durch Vorliegen von Marktfriktionen aufgeweicht, entstehen alternative Begründungen für den Wert des unternehmerischen Risikomanagements. Die Literatur spricht in diesem Zusammenhang von einer positiven Theorie des Hedging.⁵⁴ Erklärungsansätze für ein unternehmerisches Risikomanagement sind u.a.:⁵⁵

Steuern: Der Unternehmenswert kann dann durch Hedging erhöht werden, wenn Hedging zu einer Verringerung der Steuerbelastung führt. Smith und Stulz⁵⁶ konnten zeigen, dass durch Hedgingaktivitäten bei konvexen Steuertarifen erwartete Nachsteuergewinne und damit der Unternehmenswert steigt. Empirisch konnte dieser Erklärungsansatz von unternehmerischen Hedgingaktivitäten gestützt werden.⁵⁷

Informationsasymmetrien: Hedgingaktivitäten können sich positiv auf den Unternehmenswert auswirken, wenn dadurch Informationsasymmetrien zwischen Eigentümern und Management oder zwischen Eigenkapital- und Fremdkapitalgebern verringert werden. Da das Management über genauere Informationen bezüglich des unternehmerischen Risikos verfügt als die Eigenkapitalgeber, können präzisere Hedging-Geschäfte abgeschlossen werden. Ein ex ante festgelegter Plan mit Absicherungsaktivitäten ermöglicht die ex post Beurteilung und schränkt die Möglichkeit des Managements ein, eigene Risikoeinstellungen in die Hedging-Geschäfte einfließen zu lassen.⁵⁸

DeMarzo und Duffie⁵⁹ zeigen in ihrem Modell, dass Hedging den Unternehmenswert steigern kann, weil Informationsasymmetrien abgebaut werden. Das Management reduziert die absicherbaren Risiken von Investitionen, um die eigene Leistung klarer herausstellen zu können und unabhängiger von Risiken zu machen.

Höhere Kosten der Außenfinanzierung als bei Innenfinanzierung: Die Außenfinanzierung verursacht im Vergleich zur Innenfinanzierung zusätzliche Kosten. Zudem ist zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung die Höhe der Mittel aus Innenfinanzierung unsicher. Kann durch unternehmensinternes Hedging das Risiko über die Höhe des Innen-

⁵³Vgl. Franke u. Hax (2009), S. 347f.

⁵⁴Vgl. Smith u. Stulz (1985), S. 391.

⁵⁵Vgl. Kürsten (2006) für eine ausführliche Darstellung.

⁵⁶Vgl. Smith u. Stulz (1985), S. 392ff.

⁵⁷Vgl. Nance u. a. (1993), S. 280.

⁵⁸Vgl. Stulz (1984).

⁵⁹Vgl. DeMarzo u. Duffie (1995).

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

finanzierungsvolumens reduziert werden, ergibt sich für das Unternehmen ein positiver Ergebniseffekt.⁶⁰

Insolvenzkosten: Andere Hedging-Theorien thematisieren die Kosten der Innenfinanzierung von Unternehmen. Wenn im Gegensatz zur Modigliani-Miller-Welt Innenfinanzierungskosten niedriger als Außenfinanzierungskosten sind, dann reduzieren Hedgingaktivitäten die Volatilität der zukünftigen Cashflows des Unternehmens und verringern die Wahrscheinlichkeit von Zahlungsunfähigkeit oder Insolvenz. Insolvenzkosten stellen eine Art von Transaktionskosten dar. Hedgingaktivitäten reduzieren diese erwarteten Transaktionskosten und erhöhen somit den Unternehmenswert.⁶¹

Geringere Transaktionskosten auf Unternehmensebene: Dufey und Srinivasulu⁶² liefern weitere Erklärungen. Unter der Annahme, dass Unternehmen im Vergleich zu Individuen einen besseren bzw. kostengünstigeren Zugang zu Finanzmärkten mit Hedging-Produkten haben, erhöht das betriebliche Risikomanagement den Unternehmenswert jedes einzelnen Aktionärs. Dieses Argument beruht wiederum auf der Annahme, dass die durchschnittlichen Transaktionskosten auf Unternehmensebene eine fallende Funktion des Kontraktvolumens sind. Mit dieser Annahme führt ein zentrales Risikomanagement auf Unternehmensebene zu Kostenvorteilen im Vergleich zur Individualebene. Auch können durch Risikomanagement die Losgrößenprobleme und Marktzugangsbeschränkungen auf Individualebene vermieden werden.⁶³

2.2.2 Der Risikomanagement-Prozess in der Stromwirtschaft

Der Energiehandel fungiert gleichzeitig als Energiedrehscheibe und als Bindeglied zwischen Erzeugung und Vertrieb in der Energiewertschöpfungskette. Für die Organisation des Energiehandels gelten handelsspezifische und regulatorische Rahmenbedingungen. Dem vorgelagert muss seit dem Inkrafttreten des Gesetzes zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich (KonTraG) jede Geschäftstätigkeit einer deutschen GmbH oder Aktiengesellschaft in ein Risikomanagementsystem eingebettet sein.⁶⁴ Damit besteht eine gesetzliche Verpflichtung zur Steuerung von Risiken – idealerweise über die Implementierung eines Risikomanagementsystems.

⁶⁰Vgl. Froot u. a. (1993).

⁶¹Vgl. Smith u. Stulz (1985), S. 395ff.

⁶²Vgl. Dufey u. Srinivasulu (1983).

⁶³Vgl. Korn (2004), S. 13.

⁶⁴Vgl. Borchert u. a. (2006), S. 21 und Kodifizierung in §91 Abs. 2 AktG.

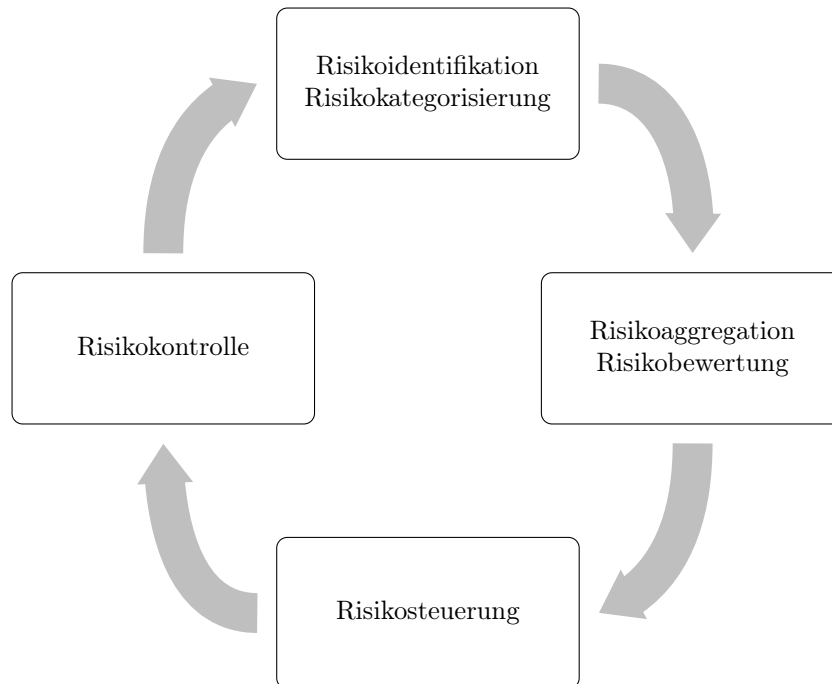


Abbildung 2.6: Prozessmanagement

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Borchert u. a. (2006), S. 110.

In der Literatur findet sich kein einheitlicher Ansatz für den Risikomanagement-Prozess. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein einfacher Prozess, in Form eines mehrphasigen Regelkreises, gewählt. Der Risikomanagement-Prozess ist dabei regelmäßig zu durchlaufen, wobei die einzelnen Prozessphasen über Feedbackschleifen miteinander verbunden sind.⁶⁵

Der regelmäßig zu durchlaufende Risikomanagement-Prozess gliedert sich in die Teilprozesse:

- Risikoidentifizierung und -kategorisierung,
- Risikoaggregation und -bewertung,
- Risikosteuerung und
- Risikokontrolle.

Zur **Risikoidentifizierung und -kategorisierung**: Das Risikomanagement basiert auf der strukturierten und möglichst vollständigen Erfassung aller wesentlichen Risiken eines Unternehmens. Nicht alle Risiken lassen sich durch ein standardisiertes Vorgehen identifizieren.

⁶⁵Vgl. Weber (2005), S. 149ff.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

Übergeordnete, eher qualitative Risiko-Kategorien sind politische Risiken oder Reputationsrisiken. Die jüngste Vergangenheit hat die deutsche Energiewirtschaft besonders für diese Risiko-Kategorien sensibilisiert. Die Auswirkungen politischer Risiken sind vielfältig: Veränderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen oder der Entzug von Betriebsgenehmigungen für Erzeugungseinheiten etc. haben ökonomische Auswirkungen. Eine Absicherung gegen politische Risiken ist kaum möglich. Klassische Lobbyarbeit mag kurzfristig Erfolg haben, erhöht aber langfristig das Reputationsrisiko. Eine quantitative Messung von politischen Risiken oder Reputationsrisiken ist in der Regel nicht umsetzbar und wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter behandelt. Der weitere Fokus der Arbeit liegt auf quantifizierbaren Risiken.

Folgende Risiko-Kategorien werden in der Energiewirtschaft erfahrungsgemäß berücksichtigt:⁶⁶

- **Marktpreisrisiken:** Welche Auswirkungen haben Änderungen der Preise auf den Märkten, beispielsweise von Strompreisen oder Preisen von Primärenergieträgern wie Gas, Kohle oder Öl? Hinzu kommen Preisänderungen bei Marktpreisdifferenzen (sog. genannter Spreads, wie Spark- oder Dark-Spreads). Weitere wichtige Marktpreisrisiken resultieren aus Änderungen von Wechselkursen, Refinanzierungszinssätzen oder von Löhnen und Gehältern.
- **Kreditrisiken:** Welche Auswirkungen hat es, wenn Vertragspartner ihren vertraglichen Verpflichtungen nicht oder nur unvollständig nachkommen? In solchen Fällen besteht das Risiko von Wiederbeschaffungs- oder Wiederanlageverlusten. Marktpreis- und Kreditrisiken sind eng miteinander verbunden. Eine Hedgingmaßnahme durch ein Termingegengeschäft beispielsweise kann das Marktpreisrisiko verringern und gleichzeitig das Kreditrisiko erhöhen. In diesem Fall wird ein Marktpreisrisiko in ein Kreditrisiko transformiert.
- **Operationelle Risiken:** Welche negativen Auswirkungen hat menschliches oder technisches Versagen? Beispiele dafür sind Missachtung von internen Vorschriften durch Mitarbeiter bei der Kreditvergabe oder unvorhersehbare Materialermüdungen bei Stromtrassen, die zu einem Black-Out führen können.

Die Abbildung (2.7) fasst die Risiken auf den unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen zusammen.

Zur **Risikoaggregation und -bewertung:** Bei der Risikoaggregation werden die wechselseitigen Abhängigkeiten der identifizierten Einzelrisiken bzgl. möglicher Diversifi-

⁶⁶Vgl. Burger u. a. (2007), S. 243.

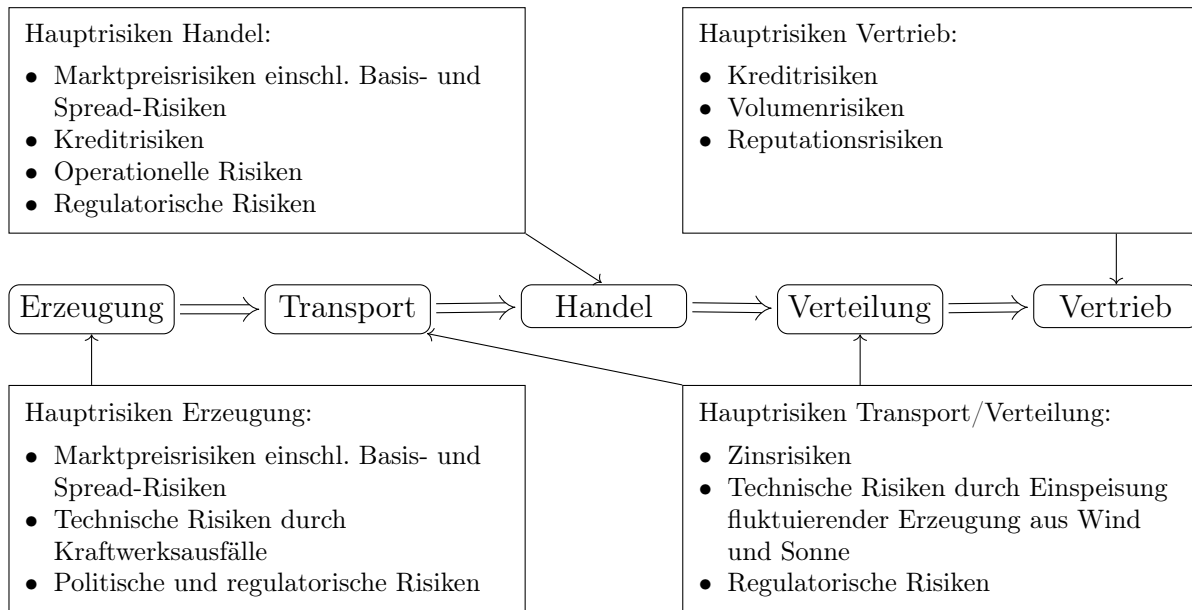


Abbildung 2.7: Risiken auf den Wertschöpfungsstufen Strom

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Borchert u. a. (2006), S. 110.

kationseffekte analysiert und zu einer Gesamtrisikoposition zusammengefasst.⁶⁷ Zur Risikoquantifizierung stehen vielfältige Risikomaße zur Auswahl, die direkt auf der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Ergebnisgröße ansetzen. Neben Varianz oder Value-at-Risk, stehen weitere Risikomaße wie Conditional Value-at-Risk oder Expected Shortfall zur Verfügung.⁶⁸

Alternative Risikomaße wie bspw. die Exposure stellen die Sensitivität einer Ergebnisgröße in Bezug auf einzelne Risikofaktoren in den Vordergrund. Partielle Ableitungen, die sogenannten Greeks, von geschlossenen Optionsbewertungsformeln, wie bspw. Black-Scholes-Formel, sind weitere in der Praxis geläufige Exposuremaße.⁶⁹

Zur **Risikosteuerung**: Beim dritten Prozessschritt geht es um die aktive Beeinflussung der aggregierten Risikoposition. Erwartete Erträge und die dafür einzugehenden Risiken werden abgewägt. Sinnvolle Optionen für den Strommarkt sind weder eine komplette Risikovermeidungsstrategie noch eine vollständige Akzeptanz aller Risiken.⁷⁰

Zur **Risikokontrolle**: Im vierten Prozessschritt werden Sollwert und realisierte Risikoposition auf Abweichungen analysiert, mit dem Ziel, die Differenzen zwischen Soll- und

⁶⁷Vgl. Strohbücker (2011), S. 32f.

⁶⁸Vgl. Strohbücker (2011), S. 36ff.

⁶⁹Vgl. Borchert u. a. (2006), S. 303f.

⁷⁰Vgl. Strohbücker (2011), S. 33.

2 Die Grundlagen des Stromhandels und des Risikomanagements

Istwerten zu erklären. Findet sich bei der Abweichungsanalyse keine sinnvolle Erklärung, kann dies mindestens zwei mögliche Ursachen haben: Entweder war die Methode zur Risikomessung war nicht adäquat und sollte im Rahmen einer Methodenkontrolle überprüft werden oder im Rahmen des ersten Prozessschritts (Risikoidentifikation) wurden Risiken übersehen.⁷¹ Auch für diesen Fall wird der Regelkreis des Risikomanagements wieder gestartet.

Der Liberalisierungsprozess hat die traditionelle Energiewertschöpfungskette aufgebrochen. Der Energiehandel als zusätzliches Geschäftsfeld hat Bedeutung erlangt und erfordert einen Risikomanagementprozess, um neuen Risiken – wie beispielsweise Preisrisiken – unternehmensseitig zu begegnen.

⁷¹Vgl. Strohbücker (2011), S. 35f.

3 Modelltheoretische Analyse

Der erste Abschnitt legt die entscheidungstheoretische Grundlage der verfolgten Modellierungsansätze. Der zweite Abschnitt stellt als Referenzmodelle die optimale Produktions- und Hedging-Entscheidung bei unbegrenzter Marktliquidität für den Fall der Erwartungsnutzenmaximierung und für den Fall von (μ, σ^2) -Präferenzen vor. Im dritten Abschnitt wird dann – durch Berücksichtigung begrenzter Marktliquidität – die Praxisnähe der Modelle gesteigert. In allen Abschnitten wird mithilfe von Sensitivitätsanalysen überprüft, wie robust sämtliche Modellergebnisse auf Veränderungen der Parameter reagieren.

3.1 Entscheidungstheoretische Grundlagen

Bei der Bestimmung von optimalen Entscheidungen geht es darum, aus einer Menge von sich gegenseitig ausschließenden Handlungsalternativen eine Alternative auszuwählen. Sind die alternativen Zahlungsreihen unsicher, werden diese durch Zufallsvariablen abgebildet.

Es besteht die Möglichkeit, aus den subjektiven Präferenzen des Entscheiders ein Kriterium für das Optimum abzuleiten. Hierzu fließen die Präferenzvorstellungen des Entscheiders sowohl hinsichtlich der Unsicherheit, ausgedrückt durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Zufallsvariablen, als auch in Bezug auf die Zeit ein.¹

3.1.1 Risiko und Unsicherheit

Entscheidungsmodelle, denen die Annahme sicherer Erwartungen zugrunde liegt, sind zwar in die betriebswirtschaftlichen Literatur und in der betrieblichen Praxis verbreitet, vernachlässigen allerdings einen wesentlichen Aspekt der Realität. Bei optimalen

¹Vgl. Kürsten (2006), S. 7. Zusätzlich ist ein eigenständiges, vorgelagertes Entscheidungsproblem zu lösen, das hier nicht behandelt wird: Nach welchem Kriterium soll die optimale Handlungsalternative ausgewählt werden? Welches ist das kontextabhängige, richtige Risikomaß?

3 Modelltheoretische Analyse

Entscheidungen auf Basis quasi-sicherer Erwartungen ist eine bedingte Aussage inhärent: Die Vorteilhaftigkeit der optimalen Wahl ist daran gekoppelt, dass die Zukunft sich wirklich so entwickelt, wie in der Entscheidungsauswahl angenommen. Die Frage, welche Auswirkungen ein Abweichen der Realität von den Modellannahmen hat, bleibt unbeantwortet.²

Eine nachgeschaltete Sensitivitätsanalyse kann helfen, durch Parametervariationen der quasi-sicheren Erwartungen die Auswirkungen der möglichen Abweichungen abzuschätzen. Durch die Erweiterung des methodischen Ansatzes hin zu einer zustandsbezogenen Betrachtungsweise kann die Möglichkeit derartiger Abweichungen bei der Auswahl berücksichtigt werden.³

Die Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung in einer Entscheidungssituation kann wie folgt charakterisiert werden: Der Entscheidungsträger hat die Auswahl zwischen n verschiedenen Handlungsalternativen. Das Ergebnis seiner Entscheidung hängt sowohl von seiner Auswahl ab als auch davon, welcher Zustand eintritt. Der Entscheider kennt dabei die Menge aller möglichen Zustände, ohne auf die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Zustände Einfluss zu haben. Gleichzeitig weiß er zum Zeitpunkt seiner Entscheidung nicht, welcher Zustand eintreten wird.

Abhängig von der Kenntnis der Eintrittswahrscheinlichkeiten der Zustände bzw. der Erwartungsstruktur lassen sich drei Fälle unterscheiden.⁴ In der betrieblichen Praxis wird sich die Suche nach optimalen Entscheidungen in der Regel auf subjektiven Wahrscheinlichkeitsschätzungen von Entscheidungsträgern mit Erfahrung und Sachkenntnis stützen.⁵

Für den Fall, dass der wahre Zustand bekannt ist, was einer Eintrittswahrscheinlichkeit von eins entspricht, liegt eine Entscheidungssituation unter Sicherheit vor. Bei Unsicherheit sind für den Entscheidungsträger mindestens zwei Zustände möglich. Unsicherheit im engeren Sinne liegt dann vor, wenn es dem Entscheidungsträger nicht möglich ist, Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Zustände benennen. Er kann nur alle Zustände mit positiver Eintrittswahrscheinlichkeit benennen.⁶ In der Literatur zur Entscheidungstheorie wird Unsicherheit im engeren Sinne auch als Ungewissheit bezeichnet.⁷

²Vgl. Franke u. Hax (2009), S. 245ff.

³Vgl. Franke u. Hax (2009), S. 253ff.

⁴Vgl. Laux u. a. (2012), S. 33.

⁵Vgl. Franke u. Hax (2009), S. 250.

⁶Vgl. Laux u. a. (2012), S. 33.

⁷Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 109ff.

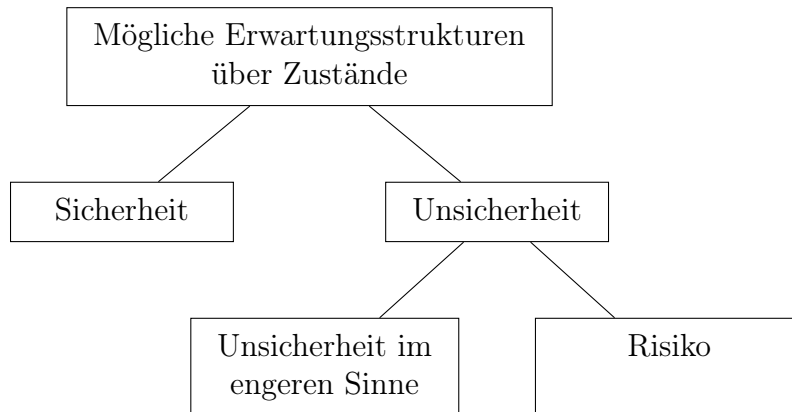


Abbildung 3.1: Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Laux u. a. (2012), S. 33.

Sind – im Gegensatz zum ersten Fall – dem Entscheidungsträger die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Zustände bekannt, handelt es sich um eine Entscheidungssituation unter Risiko. Dem Entscheidungsträger ist bei der Auswahl seiner Alternative nicht bekannt, welcher Zustand eintreten wird.⁸ Die Entscheidungssituation unter Risiko steht im Vordergrund dieser Arbeit.

3.1.2 Bernoulli-Prinzip – Entscheidungen unter Risiko

Eine mögliche theoretische Basis für optimale Entscheidungen unter Risiko, also der Wahl zwischen Wahrscheinlichkeitsverteilungen von Zufallsvariablen, abhängig von subjektiven Präferenzen, bietet das Bernoulli-Prinzip. Die Namensgebung geht zurück auf Daniel Bernoulli, Schweizer Mathematiker und Physiker, geboren 1700 in Groningen. Bernoulli schlug vor, neben Eintrittswahrscheinlichkeiten und Ergebnissen, die subjektive Bewertung der Ergebnisse mithilfe einer logarithmischen Nutzenfunktion zu berücksichtigen und die Auswahl der optimalen Alternative auf Basis des Erwartungsnutzenwerts zu treffen. Sein Vorschlag beruhte auf Beobachtungen des sogenannten St. Petersburgers Spiels, das er analysierte.⁹

Laut dem Bernoulli-Prinzip soll die Bewertungsfunktion $\phi(a)$ für die Alternativen a , die durch die alternativenabhängige Zielgröße \tilde{z}_a charakterisiert wird, maximiert werden:¹⁰

$$\phi(a) = E[U(\tilde{z}_a)].$$

⁸Vgl. Laux u. a. (2012), S. 33.

⁹Vgl. Laux u. a. (2012), S. 112f.

¹⁰ $E[\cdot]$ bezeichnet den Erwartungswert-Operator.

3 Modelltheoretische Analyse

Im Jahr 1944 gelang John von Neumann und Oskar Morgenstern die erste mathematisch, axiomatische Fundierung des Bernoulli-Prinzips. Deshalb wird im Zusammenhang mit dem Bernoulli-Prinzip und der Maximierung des Erwartungsnutzens in der Literatur zur Entscheidungstheorie synonym von der Maximierung einer Risikonutzenfunktion bzw. von einer Von-Neumann-Morgenstern-Nutzenfunktion gesprochen.¹¹

Welche Bedeutung kann das Bernoulli-Prinzip für die betriebliche Praxis haben und warum kann es sinnvoll sein, sich mit seiner mathematisch axiomatischen Fundierung auseinanderzusetzen?

Deskriptiv interpretiert, impliziert das Bernoulli-Prinzip eine Hypothese über das beobachtbare, tatsächliche Verhalten von Entscheidern in Risikosituationen. Allerdings ist die empirische Bestätigung, dass sich jeder Entscheider in allen Risikosituationen bei seiner Auswahl am maximalen Erwartungsnutzen orientiert, nahezu unmöglich. Dafür ist die zu testende Hypothese des Bernoulli-Prinzips zu allgemein bzw. kann mit hinreichendem Aufwand leicht falsifiziert werden. Trotzdem kann die Theorie dann gute Dienste leisten, wenn sie das beobachtbare Verhalten von Entscheidern robust prognostiziert.¹²

Wichtiger scheint ein normativer Aspekt zur Begründung des Bernoulli-Prinzips zu sein.¹³ Es geht um die Fragestellung, wie ein rationaler Entscheider sich entscheiden sollte. Wenn in der betrieblichen Praxis rationale Entscheidungen gefordert werden, ist dies leichter gesagt als getan bzw. umgesetzt. Innerbetriebliche Richtlinien können eine Richtschnur für rationale Entscheidungsvorlagen vorgeben. Bewertungsrichtlinien definieren in der Regel projektspezifische Bewertungsvorschriften einschließlich Entscheidungskriterien. Derartige Richtlinien bilden aus Sicht der Unternehmensleitung die Grundlage für rationale Entscheidungen. Gleichzeitig haben Bewertungsvorschriften, wenn sie in allen Unternehmensteilen gleich verstanden und angewendet werden, den Vorteil, dass der Entscheider bzw. das Entscheidungsgremium unterschiedliche Projekte mit der gleichen ökonomischen Messlatte beurteilt und sich damit ein einheitlicher, unternehmensweiter Bewertungsmaßstab ergibt.

Wenn betriebliche Bewertungsrichtlinien die Anweisung enthalten, bei Entscheidungssituationen unter Risiko die optimale Auswahl auf Basis einer Erwartungsnutzenfunktion zu treffen, dann bedeutet dies im Umkehrschluss, dass diese Entscheidungen dahingehend rational sind, dass sie im Einklang mit mathematischen Axiomen rationalen Verhaltens stehen. Die Verankerung einer Erwartungsnutzenfunktion als Bewertungsfunktion ist ein Schritt hin zur Implementierung betrieblicher Rationalität. Einerseits kann sich die

¹¹Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 75, Franke u. Hax (2009), S. 303.

¹²Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 87f.

¹³Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 88f., Laux u. a. (2012), S. 109f.

Kommunikation und Anwendung einer allgemeinen Erwartungsnutzenfunktion in der betrieblichen Praxis als sperrig erweisen. Andererseits können Bewertungsrichtlinien, die nicht entscheidungstheoretisch fundiert sind, systematisch zu irrationalen Entscheidungen im Sinne der klassischen Entscheidungstheorie führen.

Das Bernoulli-Prinzip besagt, dass für den rationalen Entscheidungsträger eine – bis auf eine beliebig linear steigende Transformation – eindeutige Nutzenfunktion U existiert.¹⁴ Die Beurteilung der unterschiedlichen Alternativen wird auf Basis des Erwartungsnutzens vorgenommen. Die Alternative \tilde{x} mit dem maximalen Erwartungsnutzen wird gegenüber der Alternative \tilde{y} genau dann präferiert, wenn gilt $E[U(\tilde{x})] > E[U(\tilde{y})]$.

Das Bernoulli-Prinzip kann aus verschiedenen Axiomen für rationales Verhalten abgeleitet werden.¹⁵ Die axiomatisch stringente Begründung des Bernoulli-Prinzips durch von Neumann und Morgenstern wurde durch weitere Axiomensysteme ergänzt bzw. aufgrund kritischer Äußerungen weiterentwickelt. Besonders in der deutschsprachigen Literatur zur Entscheidungstheorie wurde das Bernoulli-Prinzip als rationales Entscheidungskriterium lebhaft diskutiert.¹⁶ Trotz der geäußerten Kritik und wesentlicher Weiterentwicklungen¹⁷ bleibt das Bernoulli-Prinzip das Standardverfahren für Entscheidungen unter Risiko und bildet die entscheidungstheoretische Grundlage dieser Arbeit. Diverse Autoren interpretieren das Bernoulli-Prinzip als „Goldene Mitte“ zwischen klassischen Entscheidungskriterien und komplexen Non-Expected-Utility-Ansätzen.¹⁸

Der nächste Abschnitt beschäftigt sich deshalb mit der Vereinbarkeit des Bernoulli-Prinzips mit Präferenzen auf Basis von Erwartungswert und Varianz.

3.1.3 Erwartungsnutzen und Sicherheitsäquivalent – Präferenzen auf Basis von Erwartungswert und Varianz

In der betrieblichen Praxis wird bei Entscheidungen unter Risiko für die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Alternativen das Kriterium „Erwartungswert abzüglich einer Risikokomponente“ herangezogen. Diese Vorgehensweise soll entscheidungstheoretisch mit Hilfe des Konzepts des Sicherheitsäquivalents analysiert werden. Darüber hinaus wird untersucht, unter welchen Bedingungen diese Vorgehensweise bei betrieblichen Entscheidungen im Einklang mit dem Bernoulli-Prinzip steht.

¹⁴Vgl. Laux u. a. (2012), S. 111.

¹⁵Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 88.

¹⁶Vgl. Laux u. a. (2012), S. 134f. und die dort angegebene Literatur.

¹⁷Vgl. Kahneman u. Tversky (1979) zur Prospekt-Theorie.

¹⁸Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 105.

3 Modelltheoretische Analyse

Das Sicherheitsäquivalent $CE[\tilde{x}]$ ist der sichere Betrag, bei dem der Entscheidungsträger indifferent zwischen dem Erwartungsnutzen der Zufallsvariablen $E[U(\tilde{x})]$ und dem Nutzen des sicheren Betrags $U(CE[\tilde{x}])$ ist.¹⁹

$$\begin{aligned} E[U(\tilde{x})] &= U(CE[\tilde{x}]) \\ \Rightarrow CE[\tilde{x}] &= U^{-1}(E[U(\tilde{x})]). \end{aligned} \tag{3.1}$$

Nur für wenige Kombinationen von Nutzenfunktionen und Klassen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Zufallsvariablen kann das Sicherheitsäquivalent als eine explizite Funktion von Erwartungswert und Varianz der Zufallsvariablen dargestellt werden. Für die in der finanzwirtschaftlichen Literatur häufig verwendete Kombination aus exponentieller Nutzenfunktion und normalverteilter Zufallsvariablen ist dies gerade der Fall. Diese Annahmenkombination ist die entscheidungstheoretische Basis der Portfolio-Theorie nach Markowitz und der Kapitalmarktgleichgewichtsmodelle nach Sharpe, Mossin und Lintner und wird bei der weiteren Modellentwicklung verwendet.²⁰

Wenn die optimale Alternative nicht mehr durch Maximierung des Erwartungsnutzens gewählt wird, sondern durch eine Präferenzfunktion, die lediglich von den ersten beiden statistischen Momenten, dem Erwartungswert sowie der Varianz der Zufallsvariablen abhängt, gehen ggf. entscheidungsrelevante Informationen der Wahrscheinlichkeitsverteilung verloren. Es gilt deshalb vorab zu klären: Unter welchen Bedingungen ist diese Komplexitätsreduktion sinnvoll? Wann führen Erwartungsnutzenmaximierung und (μ, σ^2) -Ansatz zu gleichen Ergebnissen? Wann entspricht das Sicherheitsäquivalent genau dem gewählten (μ, σ^2) -Ansatz?

Aktuell sind drei Fälle bekannt, die die Vereinbarkeit von Bernoulli- und (μ, σ^2) -Prinzip sicherstellen.²¹

Quadratische Nutzenfunktion: Unter der Annahme einer quadratischen Nutzenfunktion sind beide Entscheidungsmodelle miteinander kompatibel.²² Ein Entscheidungsträger, der sich seinen Erwartungsnutzen maximiert, verhält sich gleichzeitig wie ein Entscheidungsträger mit (μ, σ^2) -Präferenzen in der Form von Gleichung 3.2.

¹⁹Vgl. Franke u. Hax (2009), S. 305.

²⁰Vgl. Markowitz (1952) als Ausgangspunkt der Portfolio- und Kapitalmarkttheorie, Sharpe (2000) als eine moderne Darstellung derselben.

²¹Vgl. Löffler (2001), S. 43ff.

²²Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 95.

3.1 Entscheidungstheoretische Grundlagen

Dieser Zusammenhang lässt sich mathematisch einfach abbilden:

$$\begin{aligned} U(x) &= -ax^2 + bx \\ E[U(\tilde{x})] &= E[-a\tilde{x}^2 + b\tilde{x}] \\ &= -aV[\tilde{x}] - aE[\tilde{x}]^2 + bE[\tilde{x}]. \end{aligned} \tag{3.2}$$

Als zwei schwerwiegende Nachteile dieses Ansatzes erweisen sich: Erstens, die Nutzenfunktion steigt nicht monoton in x . Für $x > \frac{b}{2a}$ sinkt der Nutzen. Dies impliziert, dass ein Entscheidungsträger eine Alternative ablehnt, weil diese zu hohe Zahlungen abwirft. Zweitens, ein Entscheidungsträger mit quadratischer Nutzenfunktion besitzt eine zunehmende, absolute Risikoaversion (siehe nächster Abschnitt). Im Kontext der Portfolio-Theorie bedeutet dies, dass ein Entscheidungsträger bei steigendem Vermögen eine geringere Anzahl an riskanten Wertpapieren in seinem Portfolio hält.

Normalverteilte Zufallsvariablen: Sind die Zufallsvariablen multivariat²³ normalverteilt und lässt sich die Nutzenfunktion $U(x)$ für alle x als Taylorreihe entwickeln, dann treffen Bernoulli- und (μ, σ^2) -rationale Entscheider gleiche Entscheidungen.

Dem Beweis liegt die Idee zugrunde, dass sich bei normalverteilten Zufallsvariablen die geraden zentralen Momente²⁴ als Funktion der Varianz der Zufallsvariablen darstellen lassen, während die ungeraden Momente aufgrund der Symmetrie der Normalteilung den Wert von Null annehmen. Damit sind alle geraden Glieder der Taylorreihen-Entwicklung eine Funktion der Varianz bzw. alle ungeraden Glieder gleich null. Der mathematische Beweis findet sich bei Löffler.²⁵ Demnach reicht die Beschränkung auf normalverteilte Zufallsvariablen aus, um die Vereinbarkeit von Bernoulli- und (μ, σ^2) -Prinzip zu zeigen, ohne spezielle Annahmen für die Nutzenfunktion treffen zu müssen.

Der Hauptkritikpunkt an der Annahme von normalverteilten Zufallsvariablen besteht darin, dass die Zufallsvariablen beliebig hohe negative Ausprägungen aufweisen können, was in der Realität im Hinblick auf Preise als Zufallsvariablen wenig plausibel erscheint.

Lineare Klassen: Bei sogenannten linearen Risikoklassen besteht Vereinbarkeit von Bernoulli- und (μ, σ^2) -Prinzip. Dieses Ergebnis geht u.a. zurück auf Schneeweiss,²⁶

²³Vgl. Bronstein u. a. (2008), S. 819.

²⁴Vgl. Bronstein u. a. (2008), S. 818.

²⁵Vgl. Löffler (2001), S. 45ff.

²⁶Vgl. Schneeweiss (1967).

3 Modelltheoretische Analyse

Sinn²⁷ und Meyer.²⁸ Eine lineare Klasse liegt dann vor, wenn die Zielgröße eine Zufallsvariable ist, die sich nach einer Standardisierung als Zufallsvariable unabhängig von den Entscheidungsvariablen darstellen lässt.²⁹ Nachteilig bei dieser eleganten Kompatibilitätsbedingung ist, dass sie nur bei Entscheidungsproblemen mit einer Zufallsvariablen erfüllt ist.³⁰

Löffler vertritt die Ansicht, dass es sich beim Bernoulli-Prinzip und beim (μ, σ^2) -Prinzip um zwei verschiedene Arten der Modellierung von Entscheidungssituationen unter Risiko handelt. Im Rahmen dieser Arbeit werden Bernoulli-Prinzip und (μ, σ^2) -Prinzip gleichberechtigt angewendet. Die Standardherleitung einer speziellen Präferenzfunktion auf Basis des Bernoulli-Prinzips wird angegeben, weil diese in diversen Modellentwicklungen als Sicherheitsäquivalent zur Anwendung kommt.

Bei einer gegebenen (standard-) normalverteilten Zufallsgröße \tilde{x} mit Erwartungswert $\mu := E[\tilde{x}]$ und Varianz $\sigma^2 := V[\tilde{x}]$ sowie einer negativ, exponentiellen Nutzenfunktion $U(x) = -e^{-\alpha x}$ ergibt sich als Erwartungsnutzen:³¹

$$E[-e^{-\alpha \tilde{x}}] = -e^{-\alpha(\mu - \alpha/2\sigma^2)}.$$

Als Sicherheitsäquivalent ergibt sich:

$$CE[\tilde{x}] = \mu - \frac{\alpha}{2}\sigma^2. \quad (3.3)$$

Damit hängt das Sicherheitsäquivalent nur vom Erwartungswert und von der Varianz der Zufallsvariablen ab. Der erwartete Nutzen steigt mit wachsendem Erwartungswert und sinkt mit steigender Varianz bzw. steigender Risikoaversion α . Auch bei Risikoneutralität ($\alpha = 0$) bzw. sicherem Ergebnis ($\sigma^2 = 0$) behält (3.3) Gültigkeit als Sicherheitsäquivalent im Bernoulli-rationalen Sinne.

Die Risikoeinstellung eines Entscheidungsträgers lässt sich anhand der Risikoprämie $RP(\tilde{x}) = E[\tilde{x}] - CE[\tilde{x}]$ charakterisieren. Bei einer positiven Risikoprämie wird das sichere Ergebnis dem erwarteten Ergebnis der Zufallsvariablen vorgezogen. Man spricht von risikoaversen Verhalten. Im umgekehrten Fall liegt risikofreudiges Verhalten vor. Entsprechen sich Erwartungswert und Sicherheitsäquivalent, spricht man von risikoneutralem Verhalten.³² Im weiteren Verlauf wird immer ein risikoaverses Verhalten des Entscheidungsträgers unterstellt.

²⁷Vgl. Sinn (1983).

²⁸Vgl. Meyer (1987).

²⁹Vgl. Löffler (2001), S. 47ff.

³⁰Vgl. Löffler (2001), S. 50f. für eine weitergehende Kritik.

³¹Siehe Kapitel 5 – Anhang nach Wolfstetter (2002) S. 347.

³²Vgl. Franke u. Hax (2009), S. 304.

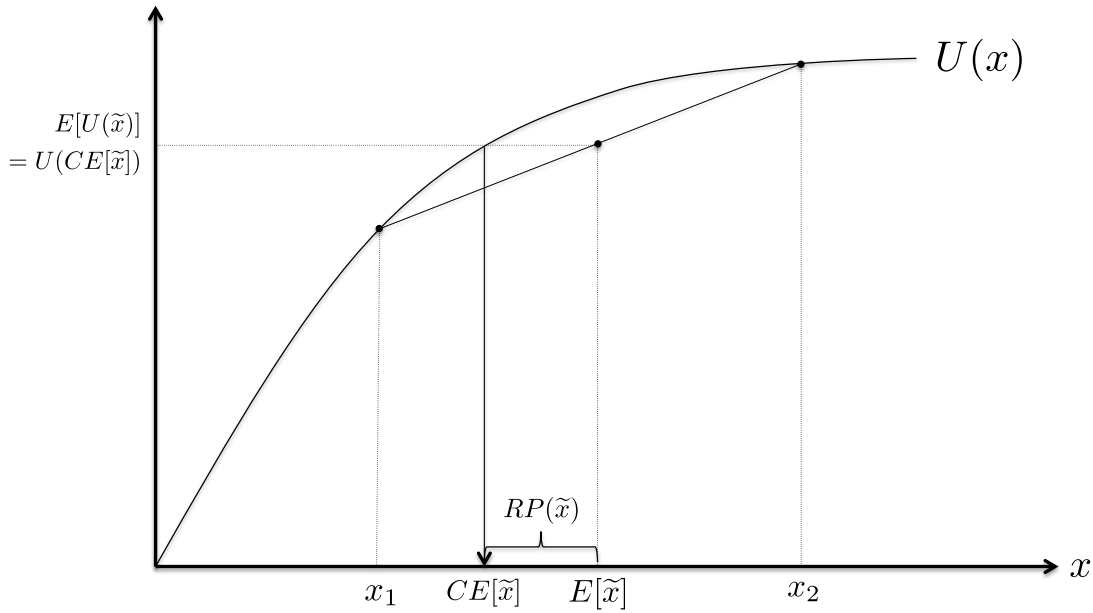


Abbildung 3.2: Risikoaversion, Sicherheitsäquivalent und Risikoprämie

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Borchert u. a. (2006), S. 217.

Abbildung 3.2 stellt die genannten Zusammenhänge für risikoaverses Verhalten dar.

Die Maximierung des Sicherheitsäquivalents entspricht dem (μ, σ^2) -Ansatz der Portfolio-Theorie³³ und ermöglicht die explizite Darstellung der optimalen Entscheidungsvariablen in Abhängigkeit von exogenen Modellparametern. Vom erwarteten Gewinn in (3.3) wird ein Risikoabschlag – gemessen durch die Varianz des Gewinns – gewichtet mit der Hälfte der absoluten Risikoaversion vorgenommen. Die absolute Risikoaversion³⁴ α ist definiert als:

$$\alpha = \frac{-U''}{U'}.$$
³⁵

Das hiermit gelegte entscheidungstheoretische Fundament ist für das Risikomanagement auf volatilen Energiemärkten relevant, wenn ökonomische Rationalität in Energieversorgungsunternehmen angestrebt wird. Gleichzeitig vereinfacht die Maximierung des Sicherheitsäquivalents – als Ausdruck unternehmerischer Präferenzen – diverse Erweiterungen von Referenzmodellen, um die Besonderheiten der Energiebranche abzubilden. Die

³³Vgl. Kroll u. a. (1984), S. 47.

³⁴Vgl. Bamberg u. a. (2012), S. 85.

³⁵Strich (') bzw. Doppelstrich (") bezeichnen in Kurzschreibweise die erste bzw. zweite Ableitung einer eindimensionalen Funktion.

Erweiterungen basieren auf Referenzmodellen, die im nächsten Unterkapitel vorgestellt werden.

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

Als Referenzmodell wird ein Zwei-Zeitpunkte-Modell eines Eigentümer-Unternehmens im vollkommenen Wettbewerb gewählt, das sich an den Modellen von Holthausen³⁶ und von Spremann³⁷ orientiert. Dabei wird der wechselseitige Einfluss zwischen der Absicherungsentscheidung am Terminmarkt und der Produktionsentscheidung analysiert. Die Reaktion der Produktions- und Hedging-Entscheidungen auf Veränderungen der Parameter wird mithilfe von Sensitivitätsanalysen überprüft.

3.2.1 Produktionsentscheidung und direktes Hedging

3.2.1.1 Annahmenkatalog

Der Annahmenkatalog präzisiert die Entscheidungssituation und wird im Laufe der Untersuchung variiert bzw. ergänzt:

A.0 Das Unternehmen wurde vor dem Zeitpunkt t_0 gegründet und wird von einem Eigentümer allein geführt.

A.1 Die Entscheidungsvariablen des Eigentümers sind die Produktionsmenge $x[0; \infty[$ Mengeneinheiten [ME] und die Hedgingmenge $h \in] - \infty; \infty[$ Mengeneinheiten [ME]. Der Produktionsprozess ist frei von Produktionsrisiken. Zum Zeitpunkt t_0 steht mit Sicherheit fest, dass x [ME] zum Zeitpunkt t_1 zum Verkauf bereitstehen. Die Hedgingposition in Höhe von h [ME] ist keinem Kreditausfallrisiko ausgesetzt und wird zum Zeitpunkt t_1 vertraglich vollständig erfüllt.

A.2 Das zu produzierende Gut wird auf einem Spotmarkt und auf einem Terminmarkt (Futures- oder Forwardmarkt) gehandelt. Das Unternehmen kann die Produktionsmenge x entweder zum Zeitpunkt t_0 am Terminmarkt zum Terminmarktpreis p_f [GE/ME] oder zum Zeitpunkt t_1 am Spotmarkt verkaufen. Das Unternehmen agiert auf dem Spot- und auf dem Terminmarkt als Preisnehmer. Die Hedgingposition wird gegen den realisierten Spotmarktpreis zum Zeitpunkt t_1 glattgestellt bzw. abgerechnet.

³⁶Vgl. Holthausen (1979).

³⁷Vgl. Spremann (1986).

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

A.3 Zum Zeitpunkt t_0 ist die Realisierung des Spotmarktpreises zum Zeitpunkt t_1 nicht bekannt. Damit wird der Unternehmensgewinn zum Zeitpunkt t_1 zu einer risikobehafteten Größe und zum alleinigen Geschäftsrisiko des Unternehmens. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Spotmarktpreises \tilde{p} sowie der Erwartungswert bzw. die Varianz werden mit $E[\tilde{p}]$ und $V[\tilde{p}]$ bezeichnet und sind dem Unternehmen zu Beginn des Planungshorizonts bekannt.³⁸ Eine Risikoprämie von Null am Terminmarkt ist dann gegeben, wenn der Terminmarktpreis p_f dem erwarteten Spotmarktpreis $E[\tilde{p}]$ entspricht: $p_f = E[\tilde{p}]$.

A.4 Für die Produktionskosten $C(x)$ in Abhängigkeit vom Produktionsvolumen x gilt $C(x) = \frac{c}{a}x^a$ mit $c > 0$ und $a \geq 2$.³⁹ In diesem Fall sind die Grenzkosten positiv: $C'(x) = cx^{a-1} > 0$. Die Kostenfunktion ist streng konvex in x für $a > 2$ wegen $C''(x) = (a-1)cx^{a-2} > 0$.

A.5 Das risikoaverse Verhalten des Unternehmens⁴⁰ drückt sich durch eine konkave Nutzenfunktion U in Abhängigkeit vom Unternehmensgewinn π aus: $U'(\pi) > 0$, $U''(\pi) < 0$. Der Unternehmensgewinn π stellt das gesamte Endvermögen des Eigentümer-Unternehmens dar. Der Unternehmer trifft seine Entscheidungen auf Basis des Erwartungsnutzens vom Endvermögen.

A.6 Zum Zeitpunkt t_0 ergibt sich für den Zeitpunkt t_1 der risikobehaftete Gewinn⁴¹ $\tilde{\pi}$ des Unternehmens in Abhängigkeit von den Entscheidungsvariablen x und h als:

$$\tilde{\pi}(x, h) = \tilde{p}x + h(p_f - \tilde{p}) - C(x) = (x - h)\tilde{p} + hp_f - C(x).$$

Bei Modellveränderungen wird jeweils auf die gültige Gewinnfunktion im Rahmen der Beschreibung des Entscheidungsproblems hingewiesen.

A.7 Steuern werden weder auf unternehmerischer noch auf privater Ebene erhoben.

Der Prämissenkatalog ermöglicht die Betrachtung des Entscheidungsproblems des Unternehmens als individuelles Entscheidungsproblem des Alleineigentümers.

Der Zeitstrahl verdeutlicht die chronologische Abfolge der Entscheidungen im Referenz-

³⁸Eine Tilde (\sim) bezeichnet eine Zufallsvariable. Ohne Tilde über einer ursprünglich als Zufallsvariable deklarierten Größe handelt es sich um die Realisierung der Zufallsvariablen.

³⁹Vgl. Bessembinder u. Lemmon (2002), S. 1352f.

⁴⁰Da es sich um ein eigentümergeführtes Unternehmen handelt, wird nicht zwischen dem Verhalten des Eigentümers und dem Verhalten des Unternehmens als juristische Person unterschieden.

⁴¹Vgl. Holthausen (1979), S. 989.

3 Modelltheoretische Analyse

modell unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen:



3.2.1.2 Erwartungsnutzenmaximierung

Der risikoaverse Unternehmer steht vor dem Entscheidungsproblem der Maximierung des Erwartungsnutzens vom risikobehafteten Gewinn $\tilde{\pi}$ zum Zeitpunkt t_1 . Bei einem unterstellten Anfangsvermögen von Null entspricht der realisierte Gewinn dem Endvermögen des Unternehmens zum Zeitpunkt t_1 .

Das zweidimensionale Entscheidungsproblem und die Bedingungen erster Ordnung⁴² sind gegeben durch:

$$\max_{(x,h)} E[U(\tilde{\pi})]$$

$$\frac{\partial E[U(\tilde{\pi})]}{\partial x} = E[U'(\tilde{\pi}^*)(\tilde{p} - c'(x^*))] = 0 \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial E[U(\tilde{\pi})]}{\partial h} = E[U'(\tilde{\pi}^*)(p_f - \tilde{p})] = 0. \quad (3.5)$$

Die kritischen Punkte werden mit (x^*, h^*) gekennzeichnet, der dazugehörige risikobehaftete Gewinn mit $\tilde{\pi}^*$. Hinreichende Bedingung⁴³ für ein lokales Maximum ist die negative Definitheit der Hesse-Matrix. Diese Bedingung ist äquivalent dazu, dass der erste Eintrag der Hesse-Matrix negativ und die Determinante der gesamten Hesse-Matrix positiv ist.⁴⁴

Um die Darstellung zu vereinfachen, gelten folgende Definitionen: $\tilde{A} := \tilde{p} - c'(x^*)$ und $\tilde{B} := p_f - \tilde{p}$. Aufgrund der Bedingungen erster Ordnung (3.4) und (3.5) gilt im Erwartungsnutzenoptimum $\tilde{A} = -\tilde{B}$. Die Hesse-Matrix H von $E[U(\tilde{\pi})]$ im Punkt (x^*, h^*) stellt sich in verkürzter Schreibweise dar als:

$$H = \begin{pmatrix} E[U''(\tilde{\pi}^*)\tilde{A}^2] - c''(x^*)E[U'(\tilde{\pi}^*)] & -E[U''(\tilde{\pi}^*)\tilde{A}^2] \\ -E[U''(\tilde{\pi}^*)\tilde{A}^2] & E[U''(\tilde{\pi}^*)\tilde{A}^2] \end{pmatrix}.$$

⁴²Vgl. Holthausen (1979), S. 990.

⁴³Vgl. Holthausen (1979), S. 989, Fußnote 2.

⁴⁴Vgl. Chiang u. a. (2011), S. 193ff. Eine Matrix ist genau dann negativ definit, wenn alle ungeraden Hauptminoren negativ und alle geraden Hauptminoren positiv sind.

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

Der erste Eintrag der Hesse-Matrix ist wegen $U'(\pi) > 0$, $U''(\pi) < 0$ und wegen $c''(x) > 0$ negativ: $E[U''(\tilde{\pi}^*)\tilde{A}^2] - c''(x^*)E[U'(\tilde{\pi}^*)] < 0$. Als Determinante von H ergibt sich:

$$\begin{aligned}\det H &= \left(E[U''(\tilde{\pi}^*)\tilde{A}^2] - c''(x^*)E[U'(\tilde{\pi}^*)] \right) E[U''(\tilde{\pi}^*)\tilde{A}^2] - \left(E[U'(\tilde{\pi}^*)\tilde{A}^2] \right)^2 \\ &= -c''(x^*)E[U'(\tilde{\pi}^*)]E[U''(\tilde{\pi}^*)\tilde{A}^2] > 0.\end{aligned}$$

Damit sind sowohl die notwendigen als auch die hinreichenden Bedingungen für ein Maximum an der Stelle (x^*, h^*) erfüllt.⁴⁵ Für risikoneutrale Unternehmen ($U'' = 0$) oder risikofreudige Unternehmen ($U'' > 0$) ist diese Bedingung nicht erfüllt.⁴⁶

Satz 3.1 (Separation). *Die Produktionsentscheidung kann von der Hedging-Entscheidung separiert werden. Die Produktionsentscheidung ist unabhängig vom Grad der Risikoaversion und dem Preisrisiko auf dem Spotmarkt. Im Erwartungsnutzenoptimum entsprechen die Grenzkosten der Produktion den Grenzerlösen am Terminmarkt: $c'(x^*) = p_f$.*⁴⁷

Beweis. Das Gleichsetzen der Bedingungen erster Ordnung (3.4) und (3.5) ergibt:

$$\begin{aligned}E[U'(\tilde{\pi}^*)(\tilde{p} - c'(x^*))] &= E[U'(\tilde{\pi}^*)(\tilde{p} - p_f)] \\ E[U'(\tilde{\pi}^*)\tilde{p}] - E[U'(\tilde{\pi}^*)]c'(x^*) &= E[U'(\tilde{\pi}^*)\tilde{p}] - E[U'(\tilde{\pi}^*)]p_f \\ c'(x^*) &= p_f.\end{aligned}\tag{3.6}$$

□

Satz 3.2 (Full-Hedge-Theorem). *Ist die Risikoprämie am Terminmarkt gleich Null ($RP = E[\tilde{p}] - p_f = 0$) wird das Unternehmen genau sein Produktionsvolumen am Terminmarkt absichern: $h^* = x^*$. Ist die Risikoprämie positiv (negativ), wird das Unternehmen eine niedrigere (höhere) Menge am Terminmarkt absichern als produzieren: $RP > 0$ ($RP < 0$), $h^* < x^*$ ($h^* > x^*$).*⁴⁸

Beweis. Die Bedingung erster Ordnung (3.5) für das optimale Hedgingvolumen h^* wird umgestellt zu:

$$\begin{aligned}E[U'(\tilde{\pi}^*)(p_f - \tilde{p})] &= 0 \\ E[U'(\tilde{\pi}^*)]p_f &= E[U'(\tilde{\pi}^*)\tilde{p}]\end{aligned}$$

⁴⁵Vgl. Feder (1977), S. 505ff, Feder u. a. (1980), S. 319f.

⁴⁶Vgl. Holthausen (1979), S. 989.

⁴⁷Vgl. Danthine (1978), S.81f, Holthausen (1979), S. 990.

⁴⁸Vgl. Danthine (1978), S.83, Holthausen (1979), S. 990f.

$$\begin{aligned}
 E[U'(\tilde{\pi}^*)]p_f &= E[U'(\tilde{\pi}^*)]E[\tilde{p}] + \text{Cov}[U'(\tilde{\pi}^*), \tilde{p}] \\
 p_f - E[\tilde{p}] &= \frac{\text{Cov}[U'(\tilde{\pi}^*), \tilde{p}]}{E[U'(\tilde{\pi}^*)]} \\
 RP &= -\frac{\text{Cov}[U'(\tilde{\pi}^*), \tilde{p}]}{E[U'(\tilde{\pi}^*)]}. \tag{3.7}
 \end{aligned}$$

Der Nenner der rechten Seite von Gleichung (3.7) ist wegen $U' > 0$ positiv. Damit entspricht das Vorzeichen der Risikoprämie im Erwartungsnutzenmaximum dem entgegengesetzten Vorzeichen der Kovarianz im Zähler.

Das Vorzeichen der Kovarianz kann durch folgende Überlegung ermittelt werden: Der Grenznutzen reagiert auf eine Veränderung des Marktpreises gemäß $\partial[U'(\pi)]/\partial p = U''(\pi)(x - h)$. Wegen $U'' < 0$ besitzt die Risikoprämie das gleiche Vorzeichen wie die Nettoposition $(x - h)$. Für den Fall einer Risikoprämie von Null muss die Kovarianz in (3.7) gleich Null sein. Beide Terme innerhalb der Kovarianz sind abhängig vom risikobehafteten Preis \tilde{p} . Nur für den Fall $h^* = x^*$ ist der Gewinn risikolos. Damit gilt Kovarianz gleich Null. \square

Eine negative Risikoprämie führt zu einer Übersicherung: Das Unternehmen verkauft am Terminmarkt mehr als die geplante Produktion, um die negative Risikoprämie zu Spekulationszwecken zu nutzen. Eine positive Risikoprämie führt zu einer Untersicherung: Das Unternehmen verkauft am Terminmarkt weniger als die geplante Produktion. Jede Abweichung von der Vollabsicherung kann als Spekulation interpretiert werden, da bei Über- bzw. Untersicherung der Unternehmensgewinn risikobehaftet bleibt, obwohl eine vollständige Absicherung möglich wäre.

Die Separationseigenschaft und das Full-Hedge-Theorem – als die zwei zentralen Ergebnisse – verdeutlichen die Vorteile eines Terminmarktzugangs für ein risikoaverses Unternehmen. Den realwirtschaftlichen Effekt einer Erhöhung der Produktion aus dem Zugang zu einem unverzerrten Terminmarkt beschreibt Satz 3.3.⁴⁹

Satz 3.3 (Terminmarktzugang). *Aufgrund des Zugangs zu einem unverzerrten Terminmarkt mit $p_f = E[\tilde{p}]$ erhöht das Unternehmen sein optimales Produktionsvolumen x^* im Vergleich zur optimalen Produktionsentscheidung x_s^* ohne Terminmarktzugang.⁵⁰*

⁴⁹Vgl. Holthausen (1979), S. 990.

⁵⁰Vgl. Holthausen (1979), S. 992f.

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

Beweis. Der risikobehaftete Unternehmensgewinn ohne Hedging-Möglichkeit am Terminmarkt ist gegeben durch $\tilde{\pi}_s(x_s) = \tilde{p}x_s - C(x_s)$. Das Entscheidungsproblem und die Bedingung erster Ordnung stellen sich dar als:

$$\begin{aligned} \max_{x_s} E[U(\tilde{\pi}_s)] \\ \frac{\partial E[U(\tilde{\pi}_s)]}{\partial x_s} = E[U'(\tilde{\pi}_s)(\tilde{p} - c'(x_s^*))] = 0. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Im Optimum⁵¹ ergibt sich:

$$\begin{aligned} E[U'(\tilde{\pi}_s^*)\tilde{p}] &= E[U'(\tilde{\pi}_s^*)]c'(x_s^*) \\ E[U'(\tilde{\pi}_s^*)]E[\tilde{p}] + \text{Cov}[U'(\tilde{\pi}_s^*), \tilde{p}] &= E[U'(\tilde{\pi}_s^*)]c'(x_s^*) \\ c'(x_s^*) &= E[\tilde{p}] + \frac{\text{Cov}[U'(\tilde{\pi}_s^*), \tilde{p}]}{E[U'(\tilde{\pi}_s^*)]}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Analog zur Begründung der Herleitung des Full-Hedge-Theorems hat der Kovarianzausdruck ein negatives Vorzeichen. Denn es gilt: $\partial[U'(\pi_s)]/\partial p = U''(\pi_s)x_s < 0$. Bei Unverzerrtheit des Terminmarkts folgt $c'(x_s^*) < c'(x^*) = p_f$; siehe Gleichung (3.6). Wegen der positiven zweiten Ableitung der Kostenfunktion $c'' > 0$ wächst die Grenzkostenfunktion c' streng monoton. Damit ist $x^* > x_s^*$ erfüllt. \square

Die Modellergebnisse Separation und Full-Hedge-Theorem wurden durch Äquivalenzumformungen der Bedingungen erster Ordnung hergeleitet und gelten für alle konkaven Nutzenfunktionen und konvexen Kostenfunktionen.

Dabei stellt sich die Frage, ob weitere Verallgemeinerungen im Erwartungsnutzenansatz für die Gewinnfunktion möglich sind, ohne die Separationseigenschaft und die Full-Hedge-Aussage zu verlieren. Die nächsten Sätze behandeln die gesuchten Verallgemeinerungen.⁵²

Der risikobehaftete Gewinn $\tilde{\pi}$ des Unternehmens lautet:

$$\tilde{\pi}(x, h) = f(\tilde{p})x + h(p_f - f(\tilde{p})) - C(x) = (x - h)f(\tilde{p}) + hp_f - C(x).$$

Satz 3.4 (Allgemeine Separation). *Aufgrund des Zugangs zu einem Terminmarkt und zu einem Terminmarktprodukt mit Terminpreis p_f gilt $c'(x^*) = p_f$.*

⁵¹Die Bedingung zweiter Ordnung für ein Maximum mit $E[U''(\tilde{\pi}_s)(\tilde{p} - c'(x_s))^2] - E[U'(\tilde{\pi}_s)c''(x_s)] < 0$ ist wegen $U'' < 0$ und $c'' > 0$ erfüllt.

⁵²Vgl. Adam-Müller (1995), S. 9ff. zu ähnlichen Verallgemeinerungen des Separationstheorems.

3 Modelltheoretische Analyse

Beweis.

$$\begin{aligned} \max_{(x,h)} E[U(\tilde{\pi})] \\ \frac{\partial E[U(\tilde{\pi})]}{\partial x} = E[U'(\tilde{\pi}^*)(f(\tilde{p}) - c'(x^*))] = 0 \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial E[U(\tilde{\pi})]}{\partial h} = E[U'(\tilde{\pi}^*)(p_f - f(\tilde{p}))] = 0. \quad (3.11)$$

Durch Gleichsetzen der Bedingungen erster Ordnung (3.10) und (3.11) lässt sich der Term $E[U'(\tilde{\pi}^*)f(\tilde{p})]$ kürzen. Es gilt $c'(x^*) = p_f$. \square

Satz 3.5 (Allgemeiner Full-Hedge). *Aufgrund des Zugangs zu einem Terminmarkt und zu einem Terminmarktprodukt mit Terminpreis $p_f = E[f(\tilde{p})]$ gilt $h^* = x^*$.*

Beweis.

$$\begin{aligned} \max_{(x,h)} E[U(\tilde{\pi})] \\ \frac{\partial E[U(\tilde{\pi})]}{\partial h} = E[U'(\tilde{\pi}^*)(p_f - f(\tilde{p}))] = 0 \\ = \text{Cov}[U'(\tilde{\pi}^*), f(\tilde{p})] = 0. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Das Umformen von Gleichung (3.12) führt zum Full-Hedge-Ergebnis. Nur für $h^* = x^*$ ist der Grenznutzen vom risikolosen Gewinn eine Konstante. Der Kovarianzausdruck nimmt den Wert Null an. \square

Warum sind die Sätze 3.4 und 3.5 für die Theorie relevant? Für die Separationseigenschaft ist nicht entscheidend, ob der Gewinn als lineare Funktion der Zufallsvariablen \tilde{p} dargestellt werden kann, sondern dass am Terminmarkt ein Hedging-Instrument zur Verfügung steht, das einen vollständigen Transfer des Preisrisikos via Vollabsicherung ohne Transaktionskosten ermöglicht. Ob die Vollabsicherung die optimale Hedging-Entscheidung ist, spielt für die Separationseigenschaft keine Rolle. Wichtig ist lediglich, dass die Vollabsicherung möglich ist.

Die Bestimmung des optimalen Hedgingvolumens in Gleichung (3.7) bzw. des optimalen Produktionsvolumens ohne Hedging-Möglichkeit in Gleichung (3.9) zeigt, dass sich ohne zusätzliche, einschränkende Annahmen im allgemeinen Erwartungsnutzenansatz nur in

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

Ausnahmefällen explizite funktionale Zusammenhänge für die optimalen Produktions- und die Hedging-Entscheidungen herleiten lassen. Schon der zweite Teil des Beweises des Full-Hedge-Theorems für den Fall einer Risikoprämie ungleich Null zeigt, dass das optimale Absicherungsvolumen h^* in der Gleichung (3.7) im Grenznutzen des Gewinns enthalten ist. In der Regel lässt sich h^* folglich nicht als eine explizite Funktion abhängig von externen Parametern darstellen. Modellerweiterungen, beispielsweise um Transaktionskosten von Hedgingmaßnahmen, die über die Standardannahmen des Referenzmodells hinausgehen, sind daher im allgemeinen Erwartungsnutzenansatz häufig nur als implizite Darstellungen der optimalen Produktions- und Hedging-Entscheidungen möglich.

Um dieser Einschränkung zu begegnen, wird – neben dem Erwartungsnutzenansatz – der Erwartungswert-Varianz-Ansatz⁵³ verfolgt. Der (μ, σ^2) -Ansatz – als Standardansatz der klassischen Portefeuille-Theorie⁵⁴ – ermöglicht die explizite Darstellung der optimalen Produktions- und Hedgingmengen in Abhängigkeit von exogenen Modellparametern.

Im Rahmen der Modellbildung wird im Prämissenkatalog die Annahme A.5 ersetzt durch:

A.5* Das risikoaverse Verhalten des Unternehmers drückt sich durch (μ, σ^2) -Präferenzen in Abhängigkeit vom risikobehafteten Endvermögen $\tilde{\pi}$ mit $\alpha > 0$ und $V[\tilde{p}] > 0$ aus:

$$\Phi(\tilde{\pi}) = E[\tilde{\pi}] - \frac{\alpha}{2} V[\tilde{\pi}].$$

Der Präferenzwert $\Phi(\tilde{\pi})$ des Unternehmers hängt vom Erwartungswert und von der Varianz des risikobehafteten Gewinns ab. Der Präferenzwert steigt mit steigendem erwarteten Gewinn und fällt bei unterstellter Risikoaversion mit steigender Varianz des Gewinns. Die absolute Risikoaversion des Unternehmens spiegelt sich im Parameter α wider. Ein risikoneutrales Unternehmen wäre durch $\alpha = 0$ charakterisiert. Risikoaverses Verhalten mit $\alpha > 0$ führt dazu, dass in der (μ, σ^2) -Präferenzfunktion ein mit der halben Risikoaversion α gewichteter Risikoabschlag (gemessen durch die Varianz des Gewinns) vom erwarteten Gewinn vorgenommen wird.

Der Präferenzwert $\Phi(\tilde{\pi})$ wird in der Entscheidungstheorie als Sicherheitsäquivalent bezeichnet. Als Sicherheitsäquivalent des risikobehafteten Gewinns gilt der sichere Gewinn (gemessen in GE), bei dem der Entscheidungsträger sich indifferent gegenüber dem risikobehafteten Gewinn verhält.

⁵³Um diesen genauen, aber sperrigen Begriff abzukürzen, wird alternativ der Begriff (μ, σ^2) -Präferenzen verwendet.

⁵⁴Vgl. Kroll u. a. (1984), S. 47.

Bei negativer, exponentieller Nutzenfunktion und normalverteilter Zufallsvariable $\tilde{\pi}$ entspricht die Präferenzfunktion $\Phi(\tilde{\pi})$ genau dem Sicherheitsäquivalent.⁵⁵

3.2.1.3 Maximierung von Erwartungswert-Varianz-Präferenzen

In der Literatur zur Hedgingtheorie finden sich sowohl diverse Ansätze auf Basis der Erwartungsnutzenmaximierung und als auch auf Basis der Maximierung von (μ, σ^2) -Präferenzen.⁵⁶ Ein eigener Stellenwert unabhängig von der Erwartungsnutzenmaximierung wird (μ, σ^2) -Präferenzen u.a. bei Broll⁵⁷ oder Löffler⁵⁸ eingeräumt. (μ, σ^2) -Präferenzen vereinfachen die Analyse von Maßnahmen des Risikomanagements erheblich, ermöglichen in der Regel eine kostengünstigere Informationsbeschaffung und erleichtern die unternehmensinterne Kommunikation.⁵⁹

Für die Kostenfunktion $C(x) = \frac{c}{a}x^a$ wird der Spezialfall quadratischer Kosten mit $a = 2$ betrachtet. Diese Einschränkung erzeugt ein Entscheidungsproblem mit einer in den Entscheidungsvariablen quadratischen Zielfunktion. Die Bedingungen erster Ordnung sind in den Entscheidungsvariablen lineare Funktionen. Sie lassen sich rechentechnisch einfach lösen. Da bei quadratischen Kosten neue Ergebnisse erzielt werden können, wird der Fall mit $a = 2$ als Referenzannahme im (μ, σ^2) -Ansatz gewählt.

Die Gewinnfunktion mit quadratischen Produktionskosten lautet:

$$\tilde{\pi}(x, h) = \tilde{p}x + h(p_f - \tilde{p}) - C(x) = (x - h)\tilde{p} + hp_f - \frac{c}{2}x^2.$$

Das Entscheidungsproblem lautet bzw. die Bedingungen erster Ordnung sind gegeben durch:

$$\begin{aligned} \max_{(x, h)} \Phi(\tilde{\pi}) &= E[\tilde{\pi}] - \frac{\alpha}{2}V[\tilde{\pi}] \\ &= (x - h)E[\tilde{p}] + hp_f - \frac{c}{2}x^2 - \frac{\alpha}{2}(x - h)^2V[\tilde{p}] \\ \frac{\partial \Phi(\tilde{\pi})}{\partial x} &= E[\tilde{p}] - cx^* - \alpha(x^* - h^*)V[\tilde{p}] = 0 \end{aligned} \tag{3.13}$$

$$\frac{\partial \Phi(\tilde{\pi})}{\partial h} = p_f - E[\tilde{p}] + \alpha(x^* - h^*)V[\tilde{p}] = 0. \tag{3.14}$$

⁵⁵Vgl. Wolfstetter (2002), S. 347f.

⁵⁶Vgl. Bamberg u. Spremann (1981), S. 208.

⁵⁷Vgl. Broll u. Wahl (2012), S. 3.

⁵⁸Vgl. Löffler (2001), S. 110.

⁵⁹Vgl. Broll u. Wahl (2012), S. 96.

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

Als hinreichende Bedingung für ein lokales Maximum wird wiederum die negative Definitheit der Hesse-Matrix H geprüft. Die Hesse-Matrix H von $\Phi(\tilde{\pi})$ im Punkt (x^*, h^*) stellt sich verkürzt dar als:

$$H = \begin{pmatrix} -c - \alpha V[\tilde{p}] & \alpha V[\tilde{p}] \\ \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha V[\tilde{p}] \end{pmatrix}.$$

Der erste Eintrag der Hesse-Matrix ist wegen $c, \alpha V[\tilde{p}] > 0$ negativ. Als Determinante von H ergibt sich:

$$\begin{aligned} \det H &= ((-c - \alpha V[\tilde{p}])(-\alpha V[\tilde{p}])) - (\alpha V[\tilde{p}])^2 \\ &= c\alpha V[\tilde{p}] > 0. \end{aligned}$$

Damit sind sowohl die notwendigen als auch die hinreichenden Bedingungen für ein Maximum in (x^*, h^*) erfüllt.

Das Separations- und das Full-Hedge-Theorem lassen sich analog zum Vorgehen beim Referenzmodell mit Erwartungsnutzenmaximierung herleiten.⁶⁰ Die Addition der Gleichungen (3.13) und (3.14) führt zur Separationsaussage (3.15). Die Umstellung der Gleichung (3.14) nach h^* ergibt das Full-Hedge-Theorem (3.16):

$$x^* = \frac{p_f}{c} \tag{3.15}$$

$$h^* = x^* - \frac{E[\tilde{p}] - p_f}{\alpha V[\tilde{p}]}. \tag{3.16}$$

Produktions- und Hedgingmenge lassen sich als explizite funktionale Zusammenhänge darstellen und interpretieren. Das optimale Hedgingvolumen aus (3.16) bedient zwei unterschiedliche Handlungsmotive: ein Absicherungsmotiv und ein Spekulationsmotiv. Ersteres entspricht der Vollabsicherung der Produktion gegen das Preisrisiko am Spotmarkt, während der zweite Term aus (3.16) die Abweichung vom Full-Hedge aufgrund eines Spekulationsmotives darstellt. Bei einer Risikoprämie am Terminmarkt von Null entfällt das Spekulationsmotiv, da der Zähler $E[\tilde{p}] - p_f$ von (3.16) gleich Null ist.

Die bisherigen Modellergebnisse lassen sich verallgemeinern und kompakt darstellen als neues Ergebnis:

⁶⁰Vgl. Holthausen (1979), S. 992f.

Satz 3.6 (Separation und Full-Hedge bei verallgemeinerter Kostenfunktion).

Bei gegebener Kostenfunktion $C(x) = \frac{c}{a}x^a \forall a > 1$ und $E[\tilde{p}] = p_f$ gilt:

$$x^* = \left(\frac{p_f}{c}\right)^{\frac{1}{a-1}} = h^* \quad (3.17)$$

$$\Phi(x^*, h^*) = \frac{a-1}{a}p_fx^*. \quad (3.18)$$

Beweis.

$$\begin{aligned} \max_{x,h} \Phi(x, h) &= E[\tilde{\pi}] - \frac{\alpha}{2}V[\tilde{\pi}] = (x-h)E[\tilde{p}] + hp_f - \frac{c}{a}x^a \\ &\quad - \frac{\alpha}{2}(x-h)^2V[\tilde{p}] \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial \Phi(x, h)}{\partial x} = E[\tilde{p}] - cx^{a-1} - \alpha(x-h)V[\tilde{p}] = 0 \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial \Phi(x, h)}{\partial h} = p_f - E[\tilde{p}] + \alpha(x-h)V[\tilde{p}] = 0. \quad (3.21)$$

Aus der Kombination der Bedingungen erster Ordnung (3.20) und (3.21) ergibt sich die optimale Produktionsmenge x^* , die eingesetzt in Gleichung (3.19) unter Berücksichtigung des Full-Hedge-Theorems mit $h^* = x^*$ bei $E[\tilde{p}] = p_f$ zur Gleichung (3.18) führt:

$$x^* = \left(\frac{p_f}{c}\right)^{\frac{1}{a-1}} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} \Phi(x^*, h^*) &= p_fx^* - \frac{c}{a}x^{*a} \\ &= p_fx^* - \frac{1}{a}p_fx^* \\ &= \frac{a-1}{a}p_fx^* \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$= \frac{a-1}{a} \left(p_f^{\frac{a}{a-1}} c^{\frac{1}{1-a}} \right). \quad (3.24)$$

□

Für $a > 2$ werden die Modellerweiterungen rechentechnisch aufwendiger, ohne wesentliche, neue Ergebnisse zu kreieren. Die Referenzannahme quadratischer Kosten mit $a = 2$ für die Produktion bleibt deshalb unverändert.

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

Welcher ökonomische Vorteil M ergibt sich nun für ein Unternehmen mit quadratischen Kosten ($a = 2$) durch die Einführung eines unverzerrten Terminmarkts mit $p_f = E[\tilde{p}]$ im Vergleich mit der Situation ohne Terminmarktzugang? Und welchen welchen Betrag M in [GE] wäre das Unternehmen maximal zu zahlen bereit?⁶¹

Um die Marktzugangsprämie M zu bestimmen, werden die Werte der Präferenzfunktion bei optimaler Produktionsentscheidung mit Hedging $\Phi(x^*, h^*)$ und ohne Hedging $\Phi(x_s^*)$ miteinander verglichen. Die Gewinnfunktion (3.2.1.3) wird dazu um die Marktzutrittsprämie M erweitert:

$$\tilde{\pi}(x, h) = \tilde{p}x + h(p_f - \tilde{p}) - C(x) - M = (x - h)\tilde{p} + hp_f - \frac{c}{2}x^2 - M.$$

Die Bedingungen erster Ordnung verändern sich durch die Einführung von M nicht. Im Ergebnis bleibt die optimale Produktions- und Hedging-Entscheidung unverändert, wobei sich der Wert der Präferenzfunktion im Optimum (x^*, h^*) um M reduziert.

Der Wert der Präferenzfunktion im Optimum $\Phi(x^*, h^*)$ kann durch Einsetzen der Gleichungen (3.15) und (3.16) als explizite Funktion⁶² der modellexogenen Parameter dargestellt werden:

$$\begin{aligned}\Phi(x^*, h^*) &= \frac{E[\tilde{p}] - p_f}{\alpha V[\tilde{p}]} E[\tilde{p}] + \left(\frac{p_f}{c} - \frac{E[\tilde{p}] - p_f}{\alpha V[\tilde{p}]} \right) p_f - \frac{c}{2} \left(\frac{p_f}{c} \right)^2 - M \\ &\quad - \frac{\alpha}{2} \left(\frac{E[\tilde{p}] - p_f}{\alpha V[\tilde{p}]} \right)^2 V[\tilde{p}] \\ &= \frac{p_f^2}{2c} + \frac{(E[\tilde{p}] - p_f)^2}{2\alpha V[\tilde{p}]} - M.\end{aligned}\tag{3.25}$$

Bei einer Risikoprämie von Null vereinfacht sich (3.25) zu:

$$\Phi(x^*, h^*) = \frac{p_f^2}{2c} - M = \frac{p_f}{2} x^* - M.\tag{3.26}$$

Der Wert der Präferenzfunktion im Optimum $\Phi(x^*, h^*)$ entspricht dem Produkt aus halbiertem Terminmarktpreis und Produktionsmenge abzüglich Marktzugangsprämie M . Diese Gesetzmäßigkeit findet sich in weiteren Modellen wieder und vereinfacht die Analysen.

⁶¹Vgl. Ranganathan u. Ananthakumar (2014), S. 295.

⁶²Vgl. Chiang u. a. (2011), S. 278. Diese Funktion wird in der mikroökonomischen Literatur als Maximalwertfunktion bzw. als indirekte Zielfunktion bezeichnet.

3 Modelltheoretische Analyse

Die Differenz der Präferenzfunktionswerte (Differenz zweier Sicherheitsäquivalente) entspricht genau dem monetär bewerteten Nutzenzuwachs in [GE], den der Zugang zu einem unverzerrten Terminmarkt verschafft.

Die Höhe der Marktzugangsprämie M wird durch zwei Effekte bestimmt: Zum einen ermöglicht der Zugang zu einem unverzerrten Terminmarkt die Absicherung des produktionsinduzierten Preisrisikos. Zum anderen ergibt sich ein positiver realwirtschaftlicher Effekt in Form der Erhöhung der Produktionsmenge. Beide Effekte zusammen führen zum nächsten Ergebnis.

Satz 3.7 (Terminmarktzugang). *Für den Zugang zu einem unverzerrten Terminmarkt mit $p_f = E[\tilde{p}]$ und quadratischer Kostenfunktion zahlt ein Unternehmen maximal den Betrag M mit:*

$$M = p_f^2 \frac{\alpha V[\tilde{p}]}{2c(c + \alpha V[\tilde{p}])} > 0. \quad (3.27)$$

Das optimale Produktionsvolumen erhöht sich im Vergleich zur Entscheidungssituation ohne Terminmarktzugang. Es gilt $x^ > x_s^*$.*

Beweis. Ohne Terminmarktzugang ergibt sich aus dem Entscheidungsproblem für die optimale Produktionsentscheidung x_s^* eine Bedingung erster Ordnung:⁶³

$$\begin{aligned} \max_{x_s} \Phi(x_s) &= E[\tilde{\pi}] - \frac{\alpha}{2} V[\tilde{\pi}] = x_s E[\tilde{p}] - \frac{c}{2} x_s^2 - \frac{\alpha}{2} x_s^2 V[\tilde{p}] \\ \frac{\partial \Phi(x)}{\partial x_s} &= E[\tilde{p}] - c x_s - \alpha x_s V[\tilde{p}] = 0 \\ x_s^* &= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}]} \end{aligned} \quad (3.28)$$

Der Wert der Präferenzfunktion im Optimum $\Phi(x_s^*)$ kann durch Einsetzen von Gleichung (3.28) als Funktion der Modellparameter dargestellt werden, wobei der Zusammenhang

⁶³Die Bedingung zweiter Ordnung für ein Maximum von $-c - \alpha V[\tilde{p}] < 0$ ist wegen $c > 0$ und $\alpha V[\tilde{p}] > 0$ erfüllt.

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

$p_f = E[\tilde{p}]$ in der letzten Umformung verwendet wird:

$$\begin{aligned}\Phi(x_s^*) &= E[\tilde{p}] \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}]} - \frac{c}{2} \left(\frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}]} \right)^2 \\ &\quad - \frac{\alpha}{2} \left(\frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}]} \right)^2 V[\tilde{p}] \\ &= \frac{E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])}\end{aligned}\tag{3.29}$$

$$= \frac{p_f}{2} x_s^*.\tag{3.30}$$

Die Marktzugangsprämie M (3.27) ist die Differenz der Gleichungen (3.26) und (3.29).

$$\Phi(x^*, h^*) - \Phi(x_s^*) = 0$$

$$M = \frac{p_f^2}{2c} - \frac{E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])}$$

$$M = p_f^2 \frac{\alpha V[\tilde{p}]}{2c(c + \alpha V[\tilde{p}])} > 0.$$

Die Beziehung $x^* > x_s^*$ ergibt sich durch Vergleich der optimalen Produktionsmengen aus den Gleichungen (3.15) und (3.28). Bei gleichem Zähler ist der Nenner im Fall ohne Terminmarktzugang durch die Addition des positiven Terms $\alpha V[\tilde{p}]$ größer. \square

Wie lässt sich die Marktzugangsprämie M interpretieren? Das Preisrisiko auf dem Spotmarkt führt zu einem risikobehafteten Unternehmensgewinn beim Produzenten. Der Terminmarktzugang mit seinem produktionssteigernden Effekt und der Möglichkeit, sich gegen das Spotpreisrisiko abzusichern, erhöht den Wert der Präferenzfunktion vom Unternehmensgewinn. Um mindestens den gleichen Wert der Präferenzfunktion vom Unternehmensgewinn wie ohne Terminmarktzugang zu realisieren, ist der Stromproduzent maximal bereit, den Betrag M zu zahlen.

Mit steigendem $\alpha V[\tilde{p}]$ steigt ceteris paribus M . Je volatiler der Spotmarkt bzw. je höher der Grad der Risikoaversion, desto bedeutsamer ist der Terminmarktzugang für ein risikoaverses Unternehmen.

Das positive Vorzeichen der partiellen Ableitung von M aus Gleichung (3.27) nach $\alpha V[\tilde{p}]$ verdeutlicht diese Aussage:

$$\frac{\partial M}{\partial \alpha V[\tilde{p}]} = \frac{p_f^2}{2c} \frac{c}{(\alpha V[\tilde{p}] + c)^2} > 0.\tag{3.31}$$

3 Modelltheoretische Analyse

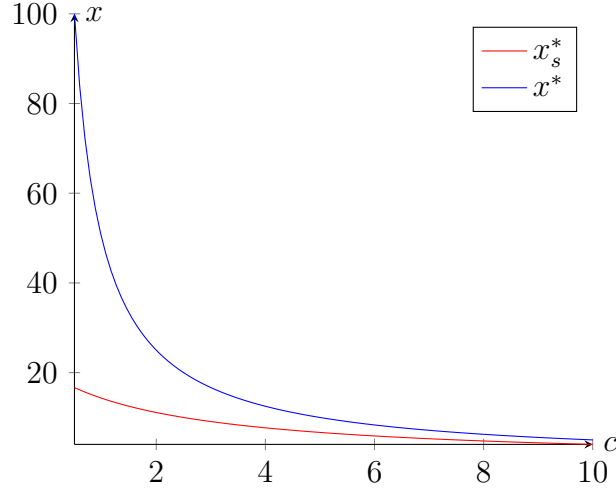


Abbildung 3.3: Vergleich der Produktionsmengen x_s^* und x^*
Parameter: $\alpha = 0.5, E[\tilde{p}] = p_f = 50, V[\tilde{p}] = 5, c \geq 0.5$

Für $\alpha V[\tilde{p}] > 0$ fallen beide Produktionsmengen mit steigendem Kostenparameter c .
Die Produktionsmenge x^* nähert sich asymptotisch der Produktionsmenge x_s^* .

Die optimale Produktionsmenge des Unternehmens wird – neben dem Terminmarktzugang – wesentlich vom Kostenparameter c bestimmt. Je kleiner c ist, desto höher sind ceteris paribus die Produktionsmenge und das produktionsinduzierte Preisrisiko, desto wichtiger ist das Hedging und umso höher die maximale Marktzugangsprämie M . Anders ausgedrückt: Produzenten mit kleinem Kostenparameter c haben im Vergleich zu Produzenten mit größerem c einen höheren Anreiz, sich einen Terminmarktzugang zu verschaffen und wären bereit, dafür eine höhere Marktzugangsprämie M zu zahlen.

Das negative Vorzeichen der partiellen Ableitung von M aus Gleichung (3.27) nach Parameter c verdeutlicht diesen Zusammenhang:

$$\frac{\partial M}{\partial c} = -\frac{p_f^2}{2} \frac{\alpha V[\tilde{p}](\alpha V[\tilde{p}] + 2c)}{c^2(\alpha V[\tilde{p}] + c)^2} < 0. \quad (3.32)$$

Weitere Sensitivitätsanalysen sind kompakt in Tabellenform dargestellt. Hierfür wurden partielle Ableitungen der Produktionsmenge, der Hedgingmenge und der Präferenzfunktion nach allen modellexogenen Parametern gebildet und interpretiert.

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

Tabelle 3.1: Sensitivitätsanalysen – Reine Produktionsentscheidung ohne Terminmarktzugang

(3.1.#)	Partielle Ableitung	Vorzeichen	Interpretation
1	$\frac{\partial x_s^*}{\partial E[\tilde{p}]} = \frac{1}{c + \alpha V[\tilde{p}]}$	> 0	Ein risikoaverser Produzent erhöht bei einer marginalen Erhöhung des erwarteten Spotmarktpreises seine Produktionsmenge.
2	$\frac{\partial x_s^*}{\partial c} = -\frac{E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}])^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Kostenparameters c führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge.
3	$\frac{\partial x_s^*}{\partial \alpha} = -\frac{V[\tilde{p}]E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}])^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Grads der absoluten Risikoaversion führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge.
4	$\frac{\partial x_s^*}{\partial V[\tilde{p}]} = -\frac{\alpha E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}])^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung der Varianz des Spotmarktpreises führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge.
5	$\frac{\partial \Phi^*}{\partial E[\tilde{p}]} = \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}]}$	> 0	Ein risikoaverser Produzent präferiert eine marginale Erhöhung des erwarteten Spotmarktpreises.
6	$\frac{\partial \Phi^*}{\partial c} = -\frac{E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Kostenparameters c führt zu einer Verringerung der Präferenz.
7	$\frac{\partial \Phi^*}{\partial \alpha} = -\frac{V[\tilde{p}]E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Grads der absoluten Risikoaversion führt zu einer Verringerung der Präferenz.
8	$\frac{\partial \Phi^*}{\partial V[\tilde{p}]} = -\frac{\alpha E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung der Varianz des Spotmarktpreises führt zu einer Verringerung der Präferenz.

3 Modelltheoretische Analyse

Tabelle 3.2: Sensitivitätsanalysen – Produktionsentscheidung mit direktem Hedging und einer Risikoprämie von Null

(3.2.#)	Partielle Ableitung	Vorzeichen	Interpretation
1	$\frac{\partial x^*}{\partial c} = -\frac{p_f}{c^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Kostenparameters c führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge. Im Vergleich zur Situation ohne Terminmarkt mit $E[\tilde{p}] = p_f$ (siehe Tab. 3.1.3) reagiert die Produktionsmenge ceteris paribus weniger stark auf eine Veränderung von c , da das Preisrisiko abgesichert werden kann.
2	$\frac{\partial x^*}{\partial p_f} = \frac{1}{c}$	> 0	Ein risikoaverser Produzent reagiert auf eine marginale Erhöhung des Terminmarktpreises mit einer stärkeren Erhöhung der Produktionsmenge als im Fall ohne Terminmarkt mit $E[\tilde{p}] = p_f$ (siehe Tab. 3.1.1).
3	$\frac{\partial h^*}{\partial c} = -\frac{p_f}{c^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Kostenparameters c führt zu einer Verringerung der Hedgingmenge, und zwar im gleichen Umfang wie sich die Produktionsmenge ceteris paribus verändert. Der Full-Hedge als Gesamteffekt bleibt bestehen.
4	$\frac{\partial h^*}{\partial p_f} = \frac{1}{c}$	> 0	Ein risikoaverser Produzent reagiert auf eine marginale Erhöhung des Terminmarktpreises mit einer Erhöhung der Hedgingmenge analog zur Erhöhung der Produktionsmenge. Der Full-Hedge als Gesamteffekt bleibt bestehen.
5	$\frac{\partial \Phi^*}{\partial c} = -\frac{p_f^2}{2c^2}$	< 0	Aufgrund von Gleichung (3.26) reagieren bei einer Risikoprämie von Null die Präferenzfunktion und die Produktionsmenge nahezu identisch.
6	$\frac{\partial \Phi^*}{\partial p_f} = \frac{p_f}{c}$	> 0	Siehe 1.2.5

3.2.2 Produktionsentscheidung und indirektes Hedging

In der betrieblichen Praxis stehen Termingeschäfte für ein direktes Hedging nicht immer zur Verfügung. Das Risiko kann in diesem Fall nur durch ein indirektes Hedging abgesichert werden. Indirektes Hedging liegt dann vor, wenn Inkongruenzen zwischen dem abzusichernden Spotmarktrisiko und dem gewählten Terminmarkt vorliegen. Eine vollständige Absicherung des Preisrisikos ist in der Regel dann nicht möglich. Diese Inkongruenzen werden in der Literatur als *Basisrisiken* bezeichnet.

Basisrisiken können durch mindestens drei unterschiedliche Inkongruenzen entstehen: Laufzeitdifferenzen zwischen dem Planungshorizont des Unternehmens und der Laufzeit des Termingeschäfts, Produktdifferenzen zwischen dem abzusichernden Grundgeschäft und dem abweichenden Grundgeschäft des Termingeschäfts sowie Lieferortdifferenzen zwischen dem Grundgeschäft und dem Erfüllungsort des Termingeschäfts.

Im hier betrachteten Modell besteht keine direkte Hedging-Möglichkeit mehr. Das Unternehmen hat lediglich eine indirekte Absicherungsmöglichkeit. Es existiert zwar ein Terminmarkt, allerdings werden hier Terminkontrakte gegen einen anderen realisierten Spotmarktpreis als beim direkten Hedging glattgestellt. Beide Spotmarktpreise sind miteinander korreliert, wobei hier die Güte der Korrelation die Modellergebnisse wesentlich bestimmt. Als Maß für die Güte der (linearen) Korrelation dient der Korrelationskoeffizient zwischen den Spotmarktpreisen nach Bravais-Pearson.⁶⁴

Der risikobehaftete Gewinn $\tilde{\pi}_i$ sowie die Entscheidungsvariablen x_i und h_i werden mit dem Index i für die Modellvariante Produktion und indirektes Hedging gekennzeichnet.

3.2.2.1 Erwartungsnutzenmaximierung

Der risikobehaftete Gewinn des Unternehmens ist gegeben durch:

$$\tilde{\pi}_i(x_i, h_i) = \tilde{p}x_i + h_i(g_f - \tilde{g}) - C(x_i).$$

⁶⁴Vgl. Kosfeld u. a. (2016), S. 210f. Das Bestimmtheitsmaß ρ^2 wird in der Literatur auch als quadrierter Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson bezeichnet und misst den linearen Zusammenhang zwischen zwei Zufallsvariablen. ρ^2 liegt im Intervall $[0; 1]$.

3 Modelltheoretische Analyse

Das Entscheidungsproblem und die Bedingungen erster Ordnung⁶⁵ lauten:

$$\begin{aligned} \max_{x_i, h_i} E[U(\tilde{\pi}_i)] \\ \frac{\partial E[U(\tilde{\pi}_i)]}{\partial x_i} = E[U'(\tilde{\pi}_i)(\tilde{p} - c'(x_i))] = 0 \end{aligned} \quad (3.33)$$

$$\frac{\partial E[U(\tilde{\pi}_i)]}{\partial h_i} = E[U'(\tilde{\pi}_i)(g_f - \tilde{g})] = 0. \quad (3.34)$$

Die Modellvariante mit indirektem Hedging erzeugt im Vergleich zum direkten Hedging Satz 3.8.

Satz 3.8 (Keine Separation). *Unter der Annahme einer indirekten Absicherungsmöglichkeit auf einem Terminmarkt können Produktions- und Hedging-Entscheidung nicht mehr voneinander separiert werden. Die Produktionsentscheidung hängt von der Präferenzfunktion und den Spotmarktpreisrisiken ab.*

Beweis. Durch Auflösen von Gleichung (3.33) nach $E[U'(\tilde{\pi}_i)]$ und Einsetzen in Gleichung (3.34) ergibt sich im Optimum:

$$c'(x_i^*) = \frac{g_f E[U'(\tilde{\pi}_i^*)\tilde{p}]}{E[U'(\tilde{\pi}_i^*)\tilde{g}]}. \quad (3.35)$$

□

Ohne zusätzliche Annahmen sind auf Basis von Gleichung (3.35) im Rahmen des allgemeinen Erwartungsnutzenansatzes keine expliziten Ergebnisse möglich. Die optimale Produktionsentscheidung auf der linken Seite der Gleichung (3.35) hängt u.a. von der optimalen Hedging-Entscheidung und sämtlichen Modellparametern auf der rechten Seite der Gleichung (3.35) ab.

Für die optimale Hedging-Entscheidung ist ohne zusätzliche Annahmen keine explizite Lösung möglich. In der Literatur wird das Basisrisiko häufig durch eine lineare Beziehung abgebildet:

$$\tilde{g} = \beta\tilde{p} + \tilde{\epsilon}.$$

⁶⁵Auf die Darstellung der Bedingungen zweiter Ordnung wird verzichtet, weil bei einer in den Entscheidungsvariablen konkaven Nutzenfunktion die Bedingungen erster Ordnung notwendig und hinreichend sind.

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

Besteht keine bzw. nur eine sehr geringe Korrelation zwischen \tilde{p} und \tilde{g} , geht das Hedge-Ratio β gegen Null. Für diesen Fall ist der Diversifikationseffekt gering und das indirekte Hedging wirkt nur schwach risikoreduzierend auf den Gewinn.

Benninga⁶⁶ bzw. Lence⁶⁷ konnten notwendige bzw. hinreichende Bedingungen herleiten, die garantieren, dass für das optimale Hedgingvolumen $h_i^* = \beta x_i^*$ gilt.⁶⁸

Um explizite, optimale Produktions- und Hedging-Entscheidungen herleiten zu können, wird im nächsten Kapitel der Erwartungsnutzenansatz durch (μ, σ^2) -Präferenzen bei quadratischer Kostenfunktion ersetzt.

3.2.2.2 Maximierung von Erwartungswert-Varianz-Präferenzen

Für den Unternehmensgewinn gilt: $\tilde{\pi}_i(x_i, h_i) = x_i \tilde{p} + h_i(g_f - \tilde{g}) - \frac{c}{2} x_i^2$.

$$\begin{aligned} \max_{x_i, h_i} \Phi(x_i, h_i) &= E[\tilde{\pi}_i] - \frac{\alpha}{2} V[\tilde{\pi}_i] \\ &= x_i E[\tilde{p}] + h_i(g_f - E[\tilde{g}]) - \frac{c}{2} x_i^2 \\ &\quad - \frac{\alpha}{2} (x_i^2 V[\tilde{p}] + h_i^2 V[\tilde{g}] - 2x_i h_i \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]) \\ \frac{\partial \Phi(x_i, h_i)}{\partial x_i} &= E[\tilde{p}] - c x_i - \alpha (x_i V[\tilde{p}] - h_i \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]) = 0 \end{aligned} \quad (3.36)$$

$$\frac{\partial \Phi(x_i, h_i)}{\partial h_i} = g_f - E[\tilde{g}] - \alpha (h_i V[\tilde{g}] - x_i \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]) = 0. \quad (3.37)$$

Die Bedingungen erster Ordnung⁶⁹ (3.36) und (3.37) lassen sich im Optimum als lineares Gleichungssystem darstellen:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] \\ \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] & -\alpha V[\tilde{g}] \end{pmatrix}}_A \underbrace{\begin{pmatrix} x_i^* \\ h_i^* \end{pmatrix}}_d = \underbrace{\begin{pmatrix} E[\tilde{p}] \\ E[\tilde{g}] - g_f \end{pmatrix}}_d.$$

⁶⁶Vgl. Benninga u. a. (1983), S. 142.

⁶⁷Vgl. Lence (1995b).

⁶⁸Vgl. Heifner (1972), Ederington (1979), Anderson u. Danthine (1981), Benninga u. a. (1983), Fung u. Leung (1991), Broll u. a. (1995).

⁶⁹Vgl. Heifner (1972), Ederington (1979), Anderson u. Danthine (1981).

3 Modelltheoretische Analyse

Die erweiterte Koeffizientenmatrix⁷⁰ des Gleichungssystems ist gegeben durch:

$$\begin{pmatrix} A & d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] & E[\tilde{p}] \\ \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] & -\alpha V[\tilde{g}] & E[\tilde{g}] - g_f \end{pmatrix}.$$

Bei Verwendung der Cramerschen Regel gilt: Falls $\det(A) \neq 0$, ist das Gleichungssystem eindeutig lösbar mit

$$(x_i^*, h_i^*) = \left(\frac{\det(A_1)}{\det(A)}, \frac{\det(A_2)}{\det(A)} \right).$$

Die Matrix A_i , $i \in \{1, 2\}$ ergibt sich, indem die i -te Spalte der Koeffizientenmatrix A durch den Vektor d ersetzt wird. Zur Vereinfachung der Notation und zur besseren Interpretation werden zwei Variablen eingeführt: $\beta = \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] / V[\tilde{g}]$ bezeichnet die Steigung einer linearen Regression auf \tilde{p} mit \tilde{g} als erklärende, unabhängige Variable. $\rho^2 = \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2 / (V[\tilde{p}]V[\tilde{g}])$ ist das Bestimmtheitsmaß der Regression.⁷¹

Die Variable β bezeichnet das sogenannte Hedge-Ratio,⁷² also das Verhältnis zwischen Hedging- und Produktionsvolumen. Der quadrierte Korrelationskoeffizient ρ^2 misst die Hedging-Effizienz.⁷³

Daraus folgt:

$$\begin{aligned} x_i^* &= \frac{\det \begin{pmatrix} E[\tilde{p}] & -\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] \\ E[\tilde{g}] - g_f & -\alpha V[\tilde{g}] \end{pmatrix}}{\det(A)} \\ &= \frac{-E[\tilde{p}]\alpha V[\tilde{g}] + \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}](E[\tilde{g}] - g_f)}{-(c + \alpha V[\tilde{p}])\alpha V[\tilde{g}] + \alpha^2 \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2} \\ &= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)} - \beta \frac{E[\tilde{g}] - g_f}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)} \end{aligned} \quad (3.38)$$

$$= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)} \quad \text{falls} \quad E[\tilde{g}] = g_f \quad (3.39)$$

⁷⁰Vgl. Bronstein u. a. (2008), S. 313.

⁷¹Vgl. Kosfeld u. a. (2016), S. 210f.

⁷²Vgl. Johnson (1960), S. 143f., Heifner (1972), S. 28, Ederington (1979) S.162.

⁷³Vgl. Johnson (1960), S. 143, Heifner (1972), S. 28f., Ederington (1979) S. 164.

und

$$\begin{aligned}
 h_i^* &= \frac{\det \begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & E[\tilde{p}] \\ \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] & E[\tilde{g}] - g_f \end{pmatrix}}{\det(A)} \\
 &= \frac{(c + \alpha V[\tilde{p}])(E[\tilde{g}] - g_f) - \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] E[\tilde{p}]}{-(c + \alpha V[\tilde{p}])\alpha V[\tilde{g}] + \alpha^2 \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2} \\
 &= \frac{(c + \alpha V[\tilde{p}])(g_f - E[\tilde{g}])}{c\alpha V[\tilde{g}] + \alpha^2 V[\tilde{p}]V[\tilde{g}](1 - \rho^2)} + \beta \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)} \quad (3.40)
 \end{aligned}$$

$$= \beta x_i^* \quad \text{falls} \quad E[\tilde{g}] = g_f. \quad (3.41)$$

Die hinreichende Bedingung für ein lokales Maximum ist durch die negative Definitheit der entsprechenden Hesse-Matrix wiederum erfüllt: Der erste Eintrag der Hesse-Matrix ist negativ. Die Determinante der Hesse-Matrix ist positiv. Die Hesse-Matrix H von $\Phi(\tilde{\pi})$ im Punkt (x_i^*, h_i^*) ist gegeben durch:

$$H = \begin{pmatrix} -c - \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] \\ -\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] & -\alpha V[\tilde{g}] \end{pmatrix}.$$

Der erste Eintrag der Hesse-Matrix ist wegen $c > 0, \alpha V[\tilde{p}] > 0$ negativ. Als Determinante von H ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 \det H &= ((-c - \alpha V[\tilde{p}])(-\alpha V[\tilde{g}])) - \alpha^2 \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2 \\
 &= c\alpha V[\tilde{g}] + \alpha^2 V[\tilde{p}]V[\tilde{g}](1 - \rho^2) > 0.
 \end{aligned}$$

Damit sind sowohl die notwendigen und als auch die hinreichenden Bedingungen für ein Maximum in (x_i^*, h_i^*) erfüllt.

Analog zur Vorgehensweise beim Beweis von Satz 3.7 kann die Präferenzfunktion $\Phi(x_i^*, h_i^*)$ durch Einsetzen der Gleichungen (3.39) und (3.41) als explizite Funktion der modellexogenen Parameter dargestellt werden. Wiederum wird eine Risikoprämie am Terminmarkt

3 Modelltheoretische Analyse

von Null unterstellt.

$$\begin{aligned}
\Phi(x_i^*, h_i^*) &= E[\tilde{p}]x_i^* - \frac{c}{2}x_i^{*2} - \frac{\alpha}{2}(x_i^{*2}V[\tilde{p}] + h_i^{*2}V[\tilde{g}] - 2x_i^*h_i^*\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]) \\
&= E[\tilde{p}]x_i^* - \frac{x_i^{*2}}{2}(c + \alpha(V[\tilde{p}] + \beta^2V[\tilde{g}] - 2\beta\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}])) \\
&= E[\tilde{p}]x_i^* - \frac{x_i^{*2}}{2}(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)) \\
&= \frac{E[\tilde{p}]}{2}x_i^*.
\end{aligned} \tag{3.42}$$

Satz 3.9 (Terminmarktzugang). *Für die Einführung eines unverzerrten Terminmarkts mit $g_f = E[\tilde{g}]$ bei quadratischer Kostenfunktion zahlt ein Unternehmen maximal den Betrag M_i mit:*

$$M_i = E[\tilde{p}]^2 \frac{\rho^2 \alpha V[\tilde{p}]}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))} > 0. \tag{3.43}$$

Für $\rho^2 \neq 0$ erhöht sich das optimale Produktionsvolumen x_i^* im Vergleich zur Entscheidungssituation ohne Terminmarktzugang x_s^* . Für $\rho = 0$ (Unkorreliertheit) stimmen die optimalen Produktionsvolumina und die Präferenzwerte überein. Für diesen Fall gilt $M_i = 0$.

Beweis. Der Betrag M_i wird definiert als die Differenz der Gleichungen (3.42) und (3.29):

$$\begin{aligned}
M_i &:= \Phi(x_i^*, h_i^*) - \Phi(x_s^*) \\
&= \frac{E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))} - \frac{E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])} \\
&= E[\tilde{p}]^2 \frac{\rho^2 \alpha V[\tilde{p}]}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))} > 0.
\end{aligned}$$

Der letzte Teil des Satzes ergibt sich durch den Vergleich der optimalen Produktionsmengen aus den Gleichungen (3.39) und (3.28):

$$x_i^* = \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)} \geq \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}]} = x_s^*.$$

□

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

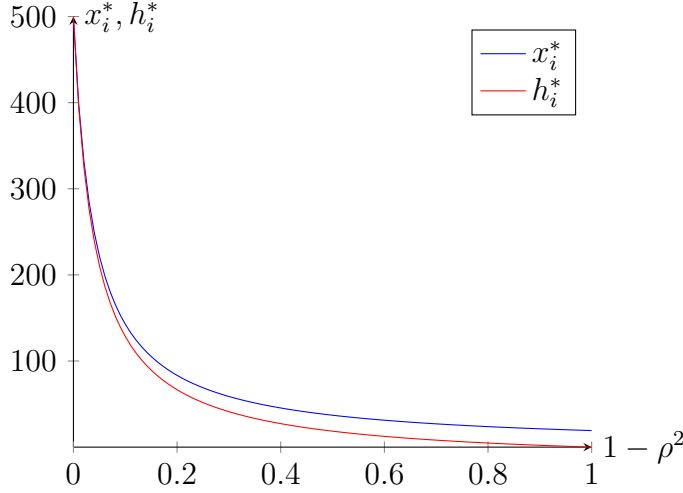


Abbildung 3.4: Vergleich der Produktionsmenge x_i^* mit der Hedgingmenge h_i^*
Parameter: $\alpha = 0.5$, $E[\tilde{p}] = 50$, $V[\tilde{p}] = \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] = 5$

Korollar 3.10 (Produktionsvergleich direktes vs. indirektes Hedging). *Die Produktionsmenge bei direktem Hedging ist mindestens so groß wie bei indirektem Hedging. Gleichheit gilt nur für den Fall perfekter (positiver oder negativer) Korrelation mit $\rho^2 = 1$. Die Produktionsmenge ohne Terminmarktzugang ist stets kleiner als die bei direktem Hedging und nicht größer als die bei indirektem Hedging. Zusammenfassend gilt: $x^* \geq x_i^* \geq x_s^*$ mit $x^* = x_i^*$ für $\rho = \pm 1$ und $x_i^* = x_s^*$ für $\rho = 0$.*

Beweis. Die Beziehung der optimalen Produktionsmenge bei direktem und indirektem Hedging ergibt sich aus dem Vergleich der Gleichungen (3.15) und (3.39):

$$x^* = \frac{E[\tilde{p}]}{c} \geq \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)} = x_i^*.$$

□

Für den Fall ohne Basisrisiko mit $1 - \rho^2 = 0$ bzw. $\rho^2 = 1$ gilt $x_i^* = x^*$ und $h_i^* = h^*$. Mit abnehmender Hedging-Effizienz ρ^2 bzw. steigendem $1 - \rho^2$ sinken die optimale Produktionsmenge x_i^* und die optimale Hedgingmenge h_i^* . Dabei konvergieren die Hedgingmenge gegen Null und die Produktionsmenge gegen x_s^* .

Bei perfekter (positiver oder negativer) Korrelation zwischen den zwei Spotmarktpreisen ergeben sich für das direkte wie das indirekte Hedging äquivalente Modellergebnisse. Ist $\rho = \pm 1$ entspricht die Marktzugangsprämie M_i aus (3.43) der Marktzugangsprämie M

3 Modelltheoretische Analyse

aus (3.27). Ein indirekter Terminmarkt mit $\rho = 0$ bringt einem Stromproduzenten keinen hedging-induzierten Vorteil und entspricht der Situation ohne Terminmarktzugang.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass sich sowohl das optimale Hedgingvolumen in (3.41) als auch das optimale Sicherheitsäquivalent in (3.42) als Funktionen der optimalen Produktionsmenge ausdrücken lassen. Dieser Zusammenhang vereinfacht einerseits die nachfolgenden Sensitivitätsanalysen, da sich die partiellen Ableitungen der Produktionsmenge bzw. des Sicherheitsäquivalentes nach den Modellparametern sehr ähnlich sind. Andererseits verursacht eine Veränderung der Produktionsmenge eine gleichgerichtete Veränderung des Sicherheitsäquivalentes. Auf die Berechnung der partiellen Ableitungen des Sicherheitsäquivalentes $\phi(x_i^*, h_i^*)$ wird deshalb verzichtet.

Die partiellen Ableitungen als Sensitivitätsanalysen haben eindeutige Vorzeichen, wenn keine perfekte Korrelation zwischen den Spotmarktpreisen unterstellt wird. Bei perfekter Korrelation fallen die Ergebnisse des indirekten Hedgings mit denen des direkten Hedgings zusammen. Bei $\rho = 0$ sind die Spotmarktpreise unkorreliert. Die Ergebnisse sind die einer Entscheidungssituation ohne Zugang zu Terminmärkten. Für die Interpretation der Sensitivitätsanalysen wird deshalb angenommen, dass $0 < \rho^2 < 1$ erfüllt ist.

3.2 Referenzmodelle mit unbegrenzter Marktliquidität

Tabelle 3.3: Sensitivitätsanalyse bei Produktion mit indirektem Hedging, einer Risikoprämie von Null und $\rho \neq \pm 1$ ¹

(3.3.#)	Partielle Ableitung	Vorzeichen	Interpretation
1	$\frac{\partial x_i^*}{\partial c} = -\frac{E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Kostenparameters c führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge. Im Vergleich zur Situation ohne Terminmarkt, siehe Tab. 3.1.3, reagiert ceteris paribus die Produktionsmenge weniger stark auf eine Veränderung von c , weil das Preisrisiko teilweise abgesichert werden kann. Im Vergleich zur Situation mit direktem Hedging reagiert die Produktionsmenge stärker auf die Veränderung des Kostenparameters, da das Preisrisiko nicht vollständig eliminiert werden kann.
2	$\frac{\partial x_i^*}{\partial E[\tilde{p}]} = \frac{1}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)}$	> 0	Ein risikoaverser Produzent erhöht bei einer marginalen Erhöhung des erwarteten Spotmarktpreises seine Produktionsmenge stärker als in einer Situation ohne indirekte Hedging-Möglichkeit.
3	$\frac{\partial x_i^*}{\partial V[\tilde{p}]} = -\frac{\alpha E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung der Varianz des Spotmarktpreises führt zu einer geringeren Reduzierung der Produktionsmenge als in einer Entscheidungssituation ohne indirekte Hedging-Möglichkeit.
4	$\frac{\partial x_i^*}{\partial V[\tilde{g}]} = -\frac{V[\tilde{p}]}{V[\tilde{g}]} \frac{\alpha E[\tilde{p}]\rho^2}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung der Varianz des Spotmarktpreises führt zu einer geringeren Reduzierung der Produktionsmenge als in einer Entscheidungssituation ohne indirekte Hedging-Möglichkeit.
5	$\frac{\partial x_i^*}{\partial \alpha} = -\frac{V[\tilde{p}](1 - \rho^2)E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung der absoluten Risikoaversion führt zu einer geringeren Reduzierung der Produktionsmenge als in einer Entscheidungssituation ohne indirekte Hedging-Möglichkeit.

¹ Die Vorzeichen der Sensitivitäten werden für $\beta > 0$ angegeben. Für $\beta < 0$ kehren sich die Vorzeichen der partiellen Ableitungen von h_i^* um.

3 Modelltheoretische Analyse

Tabelle 3.3: Sensitivitätsanalyse bei Produktion mit indirektem Hedging, einer Risikoprämie von Null und $\rho \neq \pm 1$ ¹ (Fortsetzung)

(3.3.#)	Partielle Ableitung	Vorzeichen	Interpretation
6	$\frac{\partial x_i^*}{\partial \rho^2} = \frac{\alpha V[\tilde{p}] E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2}$	> 0	Ein risikoaverser Produzent reagiert auf eine marginale Erhöhung des Korrelationskoeffizienten mit einer Erhöhung der Produktionsmenge.
7	$\frac{\partial h_i^*}{\partial c} = -\beta \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)}$	< 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β – auf Parameteränderungen.
8	$\frac{\partial h_i^*}{\partial E[\tilde{p}]} = \beta \frac{1}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)}$	> 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β – auf Parameteränderungen.
9	$\frac{\partial h_i^*}{\partial V[\tilde{p}]} = -\beta \frac{\alpha E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2}$	< 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β – auf Parameteränderungen.
10	$\frac{\partial h_i^*}{\partial V[\tilde{g}]} = \beta \frac{\partial x_i^*}{\partial V[\tilde{g}]} + \frac{\partial \beta}{\partial V[\tilde{g}]} x_i^*$	< 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β – auf Parameteränderungen.
11	$\frac{\partial h_i^*}{\partial \alpha} = -\beta \frac{V[\tilde{p}](1 - \rho^2) E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2}$	< 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β – auf Parameteränderungen.
12	$\frac{\partial h_i^*}{\partial \rho^2} = \frac{V[\tilde{p}]}{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]} \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)} + \beta \frac{\alpha V[\tilde{p}] E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2}$	> 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β – auf Parameteränderungen.

¹ Die Vorzeichen der Sensitivitäten werden für $\beta > 0$ angegeben. Für $\beta < 0$ kehren sich die Vorzeichen der partiellen Ableitungen von h_i^* um. Herleitungen ausgewählter Sensitivitäten finden sich im Anhang.

3.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die zentralen Ergebnisse zum Separations- und zum Full-Hedge-Theorem lassen sich über das Referenzmodell allgemein herleiten. Wird das Referenzmodell jedoch um praxisrelevante Basisrisiken erweitert, ist die Herleitung dieser Referenzergebnisse – ohne dass neue, zusätzliche Annahmen getroffen werden – nicht mehr möglich. Da die betriebliche Praxis es neben den Basisrisiken häufig auch mit begrenzter Marktliquidität bzw. damit einhergehenden Transaktionskosten zu tun hat, werden in dieser Arbeit verschiedene Modellrahmen um Transaktionskosten erweitert. Anschließend werden die Modellergebnisse mit Transaktionskosten an denen ohne Transaktionskosten gespiegelt.

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

“Theory of speculative markets under ideal conditions of certainty is like Hamlet without the Prince.”⁷⁴

“Hence, hedging costs typically dismissed in hedging models for being seemingly negligible are important determinants of hedging behavior.”⁷⁵

Die Annahme eines konstanten Terminpreises – unabhängig vom Hedgingvolumen – idealisiert einen perfekt liquiden Terminmarkt. Diese Annahme ist in der Praxis nicht erfüllt und wird deshalb im Rahmen von Modellerweiterungen fallengelassen. Hedging-Transaktionskosten unter Berücksichtigung eines Marktliquiditätsparameters b bilden diese Modellerweiterungen ab.

Liquidität ist eine mehrdimensionale Größe, die durch Faktoren wie Markttiefe, Marktbreite und die Geschwindigkeit einer Orderausführung beschrieben werden kann. Im gewählten Modellkontext bedeutet unbegrenzte Marktliquidität am Terminmarkt, dass der Terminmarktpreis annahmegemäß nicht auf das gewählte Hedgingvolumen reagiert.

Perfekte Marktliquidität nach Kempf wird definiert als die Möglichkeit aller Marktteilnehmer, Kauf- bzw. Verkaufstransaktionen ohne bzw. mit nur marginalen Preisänderungen abschließen zu können.⁷⁶ Auf einem perfekt liquiden Terminmarkt hat die Transaktionsgröße keinen Einfluss auf den Terminpreis.

⁷⁴Vgl. Samuelson (1957), S. 205.

⁷⁵Vgl. Lence (1996), S. 39.

⁷⁶Vgl. Kempf (1999), S. 13.

3 Modelltheoretische Analyse

Die Annahme begrenzter Marktliquidität ist in der Literatur zum Risikomanagement und Hedging wenig verbreitet. Ausnahmen in der Literatur, die Transaktionskosten von Hedgingmaßnahmen zur Abbildung von Marktliquidität berücksichtigen, finden sich u.a. bei Chavas/Pope,⁷⁷ Katz,⁷⁸ Adam-Müller,⁷⁹ Lence,⁸⁰ Pennings/Meulenberg,⁸¹ Woll/Weber⁸² oder bei Ranganathan/Ananthakumar.⁸³

Katz analysiert den Fall einer fallenden Terminpreisabsatzfunktion im allgemeinen Erwartungsnutzenmodell mit der zusätzlichen Annahme der abnehmenden absoluten Risikoaversion und kommt zu folgenden Ergebnissen und Sensitivitätsanalysen: Das Separationstheorem gilt nicht mehr. Eine Erhöhung des erwarteten Spotmarktpreises führt zur Ausweitung der Produktion bei gleichzeitiger Verringerung des Hedgingvolumens. Insgesamt nimmt die offene Position zu, weil der Spotmarkt durch den Preisanstieg im Vergleich zum Terminmarkt lukrativer geworden ist. Wird mithilfe eines Mean-preserving Spread⁸⁴ die Varianz des Spotmarktpreises erhöht, sinkt die Produktion, das Hedgevolumen steigt und die offene Position verringert sich.⁸⁵

Ähnliche Ergebnisse leiten Chavas und Pope für den Fall konvexer Hedgingkosten her. Chavas und Pope begründen Hedgingkosten mit Lohnkosten und Kapitalrationierung.⁸⁶

Lence fokussiert seine Analyse auf die Berücksichtigung von Kapitalmarktrestriktionen und Hedging-Transaktionskosten durch Marginzahlungen. Laut Lence beeinflussen diese Modellerweiterungen die optimale Produktions- und Hedging-Entscheidung stärker als etwaige Schätzrisiken der Modellparameter, die durch verfeinerte ökonometrische Techniken abgedeckt werden können.⁸⁷

Pennings und Meulenberg⁸⁸ schlagen ein neues Maß für die Hedge-Effektivität unter Berücksichtigung von Hedging-Transaktionskosten und Marktliquiditätsrisiken vor. Zur Herleitung ihres Hedge-Effektivitäts-Maßes verwenden die Autoren den (μ, σ^2) -Ansatz und vergleichen ihre Ergebnisse mit den Ergebnissen der traditionellen Hedging-Literatur.

⁷⁷Vgl. Chavas u. Pope (1982).

⁷⁸Vgl. Katz (1984).

⁷⁹Vgl. Adam-Müller (1995) S. 60f.

⁸⁰Vgl. Lence (1995a).

⁸¹Vgl. Pennings u. Meulenberg (1997).

⁸²Vgl. Woll u. Weber (2008).

⁸³Vgl. Ranganathan u. Ananthakumar (2014).

⁸⁴Vgl. Sandmo (1971), S. 67, Holthausen (1979), S. 991.

⁸⁵Vgl. Katz (1984).

⁸⁶Vgl. Chavas u. Pope (1982).

⁸⁷Vgl. Lence (1995a).

⁸⁸Vgl. Pennings u. Meulenberg (1997).

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

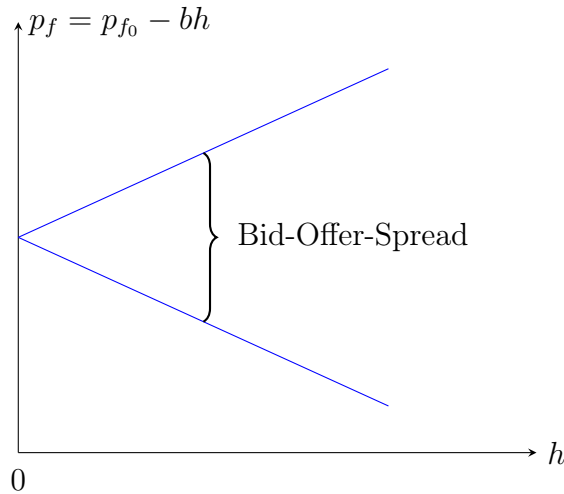


Abbildung 3.5: Eingeschränkte Terminmarktliquidität in Bid-Offer-Darstellung. Für $h > 0$ sinkt bzw. für $h < 0$ steigt der Terminpreis p_f in h .
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an den linearen Ansatz nach Weber u. Woll (2007), S. 4.

Ranganathan und Ananthakumar⁸⁹ analysieren den möglichen wirtschaftlichen Vorteil von Hedgingaktivitäten in der indischen Agrarindustrie unter Berücksichtigung von Preis- und Volumenrisiken. In ihrem Modell werden lineare Transaktionskosten berücksichtigt und der wirtschaftliche Vorteil von Absicherungsgeschäften (analog zur Marktzugangsprämie M in dieser Arbeit) ermittelt.

Im Rahmen der Modellbildung zur Berücksichtigung eingeschränkter Terminmarktliquidität wird im Annahmenkatalog die Annahme A.2 ersetzt durch:

A.2* Das zu produzierende Gut wird auf einem Spotmarkt und auf einem Terminmarkt (Futures- oder Forwardmarkt) gehandelt. Das Unternehmen kann die Produktionsmenge x_i entweder zum Zeitpunkt t_0 am Terminmarkt zum Terminmarktpreis $p_f = p_{f_0} - bh_i$ [GE/ME] mit $b > 0$ in Abhängigkeit vom Hedgingvolumen h oder zum Zeitpunkt t_1 am Spotmarkt verkaufen. Das Unternehmen agiert auf dem Spot- und Terminmarkt als Preisnehmer. Die Hedgingposition wird gegen den realisierten Spotmarktpreis zum Zeitpunkt t_1 glattgestellt. Allgemeiner ausgedrückt: Es handelt sich um quadratische Transaktionskosten von Handelsaktivitäten auf dem Terminmarkt. Die Transaktionskosten bh_i^2 werden in diesem Modellrahmen als Bid-Offer-Spreads interpretiert.

Die Ergebnisse der Modellansätze werden in zwei Schritten miteinander verglichen. Zunächst wird in Bezug auf die allgemeine Erwartungsnutzenmaximierung gezeigt, dass

⁸⁹Vgl. Ranganathan u. Ananthakumar (2014).

die wesentlichen Ergebnisse des Referenzmodells in den Modellvarianten mit begrenzter Marktliquidität nicht mehr gültig sind. Anschließend werden die Modellergebnisse für (μ, σ) -Präferenzen miteinander verglichen und interpretiert.

3.3.1 Produktionsentscheidung und direktes Hedging mit Transaktionskosten

3.3.1.1 Erwartungsnutzenmaximierung

Der risikobehaftete Gewinn $\tilde{\pi}_l$ des Unternehmens erweitert sich um die Transaktionskosten der Hedgingmaßnahme. Diese zusätzlichen Transaktionskosten wachsen in h_l quadratisch:

$$\tilde{\pi}_l(x_l, h_l) = \tilde{p}x_l + h_l(p_{f_0} - bh_l - \tilde{p}) - C(x) = (x_l - h_l)\tilde{p} + h_l p_{f_0} - bh_l^2 - C(x).$$

Im Vergleich mit den Modellen aus Kapitel 3.2 wird hier angenommen, dass der Terminmarktpreis p_f linear vom Hedgingvolumen h abhängt. Die eingeschränkte Terminmarktliquidität wird durch die lineare Funktion $p_f(h) = p_{f_0} - bh_l$ beschrieben. Die Steigung b der Geraden dient als Gradmesser für die Terminmarktliquidität. Mit steigendem b sinkt die Terminmarktliquidität. Von unverzerrten Terminmärkten wird dann gesprochen, wenn analog zu Kapitel 3.2 gilt $E[\tilde{p}] = p_{f_0}$. Die effektive Risikoprämie RP_e , die das Unternehmen zahlt, wird als $RP_e(h) = p_{f_0} - bh_l - E[\tilde{p}]$ definiert und ist vom gewählten Hedgingvolumen h_l abhängig.

Unter Berücksichtigung dieser Modellerweiterung ergeben sich für das Entscheidungsproblem die Bedingungen erster Ordnung⁹⁰ mit:

$$\begin{aligned} \max_{(x_l, h_l)} E[U(\tilde{\pi}_l)] \\ \frac{\partial E[U(\tilde{\pi}_l)]}{\partial x_l} = E[U'(\tilde{\pi}_l)(\tilde{p} - c'(x_l))] = 0 \end{aligned} \quad (3.44)$$

$$\frac{\partial E[U(\tilde{\pi}_l)]}{\partial h_l} = E[U'(\tilde{\pi}_l)(p_{f_0} - 2bh_l - \tilde{p})] = 0. \quad (3.45)$$

Bei Berücksichtigung von Hedging-Transaktionskosten sind die zwei zentralen Ergebnisse Separation und Full-Hedge-Theorem nicht mehr erfüllt.

⁹⁰ Auf die Angabe der Bedingungen zweiter Ordnung wird verzichtet.

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

Satz 3.11 (Keine Separation). *Die Hedging- und die Produktionsentscheidung sind nicht voneinander separierbar. Die optimalen Hedging- und Produktionsmengen hängen von der Risikoaversion, dem Spotmarktrisiko und dem Liquiditätsparameter b ab.*

Beweis. Ein Gleichsetzen der Bedingungen erster Ordnung (3.44) und (3.45) ergibt:

$$\begin{aligned} E[U'(\tilde{\pi}_l^*)(\tilde{p} - c'(x_l^*))] &= E[U'(\tilde{\pi}_l^*)(\tilde{p} - p_{f_0} + 2bh_l^*)] \\ E[U'(\tilde{\pi}_l^*)\tilde{p}] - E[U'(\tilde{\pi}_l^*)]c'(x_l^*) &= E[U'(\tilde{\pi}_l^*)\tilde{p}] - E[U'(\tilde{\pi}_l^*)](p_{f_0} - 2bh_l^*) \\ c'(x_l^*) &= p_{f_0} - 2bh_l^*. \end{aligned} \tag{3.46}$$

□

Analog zum Modell mit unbegrenzter Liquidität entsprechen in (3.46) die Grenzkosten den Terminmarktgrenzerlösen. Allerdings sind gegenüber Gleichung (3.6) die Grenzerlöse auf dem Terminmarkt für $h_l > 0$ geringer, weil zusätzliche Grenzhedgingkosten in Höhe von $2bh_l^*$ anfallen.

Der wesentliche Unterschied zu Gleichung (3.6) besteht darin, dass sich Produktions- und Hedgingvolumen gegenseitig bedingen: Die Entscheidungen sind nicht mehr separierbar und abhängig vom Grad der Risikoaversion, dem Preisrisiko auf dem Spotmarkt und dem Liquiditätsparameter b . Die Umformung der Gleichung (3.46) liefert das optimale Produktionsvolumen $x_l^* = (c')^{-1}(p_{f_0} - 2bh_l^*)$. Als Argument der Grenzkostenumkehrfunktion $(c')^{-1}$ wird das Hedgingvolumen h_l^* benötigt – was die gegenseitige Abhängigkeit der optimalen Entscheidungsvariablen voneinander unterstreicht.

Welche Auswirkungen hat die Einführung von Transaktionskosten⁹¹ durch den Liquiditätsfaktor b auf das optimale Hedgingvolumen?

Satz 3.12 (Untersicherung). *Gilt für die Risikoprämie $RP = E[\tilde{p}] - p_{f_0} = 0$, wird das Unternehmen am Terminmarkt weniger als das Produktionsvolumen absichern: $h_l^* < x_l^*$.*

Beweis. Die Bedingung erster Ordnung für h_l (3.45) kann wie folgt umgeformt werden:

$$\begin{aligned} E[U'(\tilde{\pi}_l^*)(p_{f_0} - 2bh_l^* - \tilde{p})] &= 0 \\ E[U'(\tilde{\pi}_l^*)(p_{f_0} - 2bh_l^*)] &= E[U'(\tilde{\pi}_l^*)\tilde{p}] \\ E[U'(\tilde{\pi}_l^*)(p_{f_0} - 2bh_l^*)] &= E[U'(\tilde{\pi}_l^*)]E[\tilde{p}] + \text{Cov}[U'(\tilde{\pi}_l^*), \tilde{p}] \end{aligned}$$

⁹¹Vgl. Röthig (2009), S. 20 für ein Modell mit Wechselkursrisiko und linearen Transaktionskosten.

$$p_{f_0} = 2bh_l^* + E[\tilde{p}] + \frac{\text{Cov}[U'(\tilde{\pi}_l^*), \tilde{p}]}{E[U'(\tilde{\pi}_l^*)]}$$

$$2bh_l^* = -\frac{\text{Cov}[U'(\tilde{\pi}_l^*), \tilde{p}]}{E[U'(\tilde{\pi}_l^*)]}. \quad (3.47)$$

Der Nenner im Bruch der rechten Seite von Gleichung (3.47) ist wegen $U' > 0$ positiv. Da die linke Seite der Gleichung (3.47) ebenfalls positiv ist, muss die rechte Seite auch positiv und damit der Kovarianzausdruck negativ sein. Es gilt allgemein $\partial[U'(\pi_l)]/\partial p = U''(\pi_l)(x_l - h_l)$. Wegen $U'' < 0$, muss $(x_l - h_l) > 0$ gelten (vgl. Beweis von Satz 3.2). \square

Bemerkung. Während in Abschnitt 3.2.1 bei perfekter Marktliquidität eine Vollabsicherung für eine Risikoprämie von Null optimal ist, gilt hier $h_l^* = x_l^*$, falls $RP = -2bh_l^*$. Obwohl eine Vollabsicherung für diese spezielle Marktsituation optimal ist, herrscht keine Separation.

Der Wechsel vom allgemeinen Erwartungsnutzenansatz zu Erwartungswert-Varianz-Präferenzen und quadratischen Kosten vereinfacht die Analyse.⁹²

3.3.1.2 Maximierung von Erwartungswert-Varianz-Präferenzen

Für den Unternehmensgewinn gilt:

$$\tilde{\pi}_l(x_l, h_l) = (x_l - h_l)\tilde{p} + h_l(p_{f_0} - bh_l) - \frac{c}{2}x_l^2.$$

Das Entscheidungsproblem und die Bedingungen erster Ordnung⁹³ sind gegeben durch:

$$\begin{aligned} \max_{(x_l, h_l)} \Phi(x_l, h_l) &= E[\tilde{\pi}_l] - \frac{\alpha}{2}V[\tilde{\pi}_l] \\ &= (x_l - h_l)E[\tilde{p}] + h_l(p_{f_0} - bh_l) - \frac{c}{2}x_l^2 - \frac{\alpha}{2}(x_l - h_l)^2V[\tilde{p}] \\ \frac{\partial \Phi(x_l, h_l)}{\partial x_l} &= E[\tilde{p}] - cx_l - \alpha(x_l - h_l)V[\tilde{p}] = 0 \end{aligned} \quad (3.48)$$

$$\frac{\partial \Phi(x_l, h_l)}{\partial h_l} = p_{f_0} - 2bh_l - E[\tilde{p}] + \alpha(x_l - h_l)V[\tilde{p}] = 0. \quad (3.49)$$

⁹²Vgl. Lo u. a. (2006), mit einer Modellierung der Liquidität im Rahmen der Portfolio-Theorie.

⁹³Auf die Angabe der Bedingungen zweiter Ordnung wird verzichtet.

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

Analog zur Herleitung der optimalen Produktions- und Hedgingmenge innerhalb von Erwartungswert-Varianz-Präferenzen in Abschnitt 3.2.2 lassen sich die Bedingungen erster Ordnung (3.48) und (3.49) als folgendes lineares Gleichungssystem darstellen:

$$\begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha V[\tilde{p}] \\ \alpha V[\tilde{p}] & -(\alpha V[\tilde{p}] + 2b) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_l^* \\ h_l^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E[\tilde{p}] \\ E[\tilde{p}] - p_{f_0} \end{pmatrix}.$$

Die Anwendung der Cramerschen Regel liefert die optimale Produktions- und Hedgingmenge:

$$\begin{aligned} x_l^* &= \frac{\det \begin{pmatrix} E[\tilde{p}] & -\alpha V[\tilde{p}] \\ E[\tilde{p}] - p_{f_0} & -(\alpha V[\tilde{p}] + 2b) \end{pmatrix}}{\det \begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha V[\tilde{p}] \\ \alpha V[\tilde{p}] & -(\alpha V[\tilde{p}] + 2b) \end{pmatrix}} \\ &= \frac{2bE[\tilde{p}] + p_{f_0}\alpha V[\tilde{p}]}{\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc} \\ &= \frac{E[\tilde{p}](\alpha V[\tilde{p}] + 2b)}{\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc} \quad \text{falls } E[\tilde{p}] = p_{f_0} \\ &= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \frac{2b\alpha V[\tilde{p}]}{2b + \alpha V[\tilde{p}]}} = \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}] \frac{2b}{2b + \alpha V[\tilde{p}]}} \end{aligned} \quad (3.50)$$

und

$$\begin{aligned} h_l^* &= \frac{\det \begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & E[\tilde{p}] \\ \alpha V[\tilde{p}] & E[\tilde{p}] - p_{f_0} \end{pmatrix}}{\det \begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha V[\tilde{p}] \\ \alpha V[\tilde{p}] & -(\alpha V[\tilde{p}] + 2b) \end{pmatrix}} \\ &= \frac{c(p_{f_0} - E[\tilde{p}]) + p_{f_0}\alpha V[\tilde{p}]}{\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc} \end{aligned} \quad (3.51)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{E[\tilde{p}]}{c + 2b + \frac{2bc}{\alpha V[\tilde{p}]}} \quad \text{falls } E[\tilde{p}] = p_{f_0} \\ &= \beta_c x_l^* \quad \text{mit} \quad \beta_c = \frac{\alpha V[\tilde{p}]}{\alpha V[\tilde{p}] + 2b}. \end{aligned} \quad (3.52)$$

3 Modelltheoretische Analyse

Für $b > 0$ hängt die optimale Produktionsmenge vom Grad der absoluten Risikoaversion und der Varianz des Spotmarktpreises ab. Das Hedge-Ratio β_c lässt sich durch Division der Hedgingmenge h_l durch die Produktionsmenge x_l herleiten: Die Determinanten im Nenner werden durch Kürzung eliminiert. Durch den unverzerrten Terminmarkt vereinfachen sich die Zähler. Weil $\beta_c < 1$ gilt, kommt es zu einer Untersicherung. Der Vergleich von (3.15) und (3.50) zeigt, dass bei direktem Hedging und unverzerrtem Terminmarkt das Produktionsvolumen aufgrund der Hedging-Transaktionskosten geringer ist.

Der nächste Satz vergleicht die optimalen Produktionsmengen bei indirektem Hedging ohne Transaktionskosten und direktem Hedging mit Transaktionskosten. Erst die Kenntnis des kritischen Werts b^* ermöglicht eine Aussage darüber, welche Alternative ökonomisch sinnvoll ist.⁹⁴

Satz 3.13 (Vergleich der Produktionsmengen). *Die optimale Produktionsmenge x_i^* ist kleiner/gleich/größer als die optimale Produktionsmenge x_l^* , wenn gilt:*

$$b^* \begin{matrix} < \\ = \\ > \end{matrix} \frac{V[\tilde{p}]}{2} \frac{1 - \rho^2}{\rho^2}.$$

Über den Vergleich von (3.39) mit (3.50) wird der kritische Wert für b^* gesucht, der beide Nenner der Produktionsmengen x_i^* und x_l^* gleichsetzt.

Beweis.

$$\begin{aligned} x_i^* &= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)} = x_l^* = \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}] \frac{2b}{2b + \alpha V[\tilde{p}]}} \\ 1 - \rho^2 &= \frac{2b^*}{2b^* + V[\tilde{p}]} \\ V[\tilde{p}](1 - \rho^2) &= 2b^* \rho^2 \\ b^* &= \frac{V[\tilde{p}]}{2} \frac{1 - \rho^2}{\rho^2}. \end{aligned} \tag{3.53}$$

□

Mit steigendem b fällt die Produktionsmenge x_l^* . Die Produktionsmenge x_i^* ist unabhängig von b und deshalb konstant. Für b^* entsprechen sich beide Produktionsmengen. Die

⁹⁴Aufgrund von Satz 3.6 ist ceteris paribus eine größere, optimale Produktionsmenge gleichbedeutend mit einem höheren Präferenzwert.

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

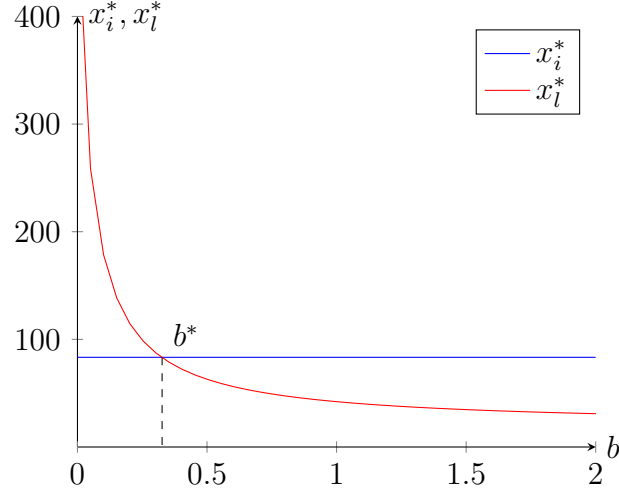


Abbildung 3.6: Vergleich der Produktionsmengen x_l^* und x_i^* in Abhängigkeit von b
Parameter: $\alpha = 0.5$, $E[\tilde{p}] = 50$, $V[\tilde{p}] = 5$, $\rho^2 = 0.2$

Präferenzfunktion $\Phi(x_l^*, h_l^*)$ kann unter Verwendung von (3.50) und (3.52) als Funktion der modellexogenen Parameter dargestellt werden.

$$\begin{aligned}
 \Phi(x_l^*, h_l^*) &= E[\tilde{p}]x_l^* - \frac{c}{2}x_l^{*2} - bh_l^{*2} - \frac{\alpha}{2}(x_l^* - h_l^*)^2 V[\tilde{p}] \\
 &= E[\tilde{p}]x_l^* - \frac{x_l^{*2}}{2} \left(c + 2b \frac{(\alpha V[\tilde{p}])^2}{(\alpha V[\tilde{p}] + 2b)^2} + \alpha V[\tilde{p}] \frac{(2b)^2}{(\alpha V[\tilde{p}] + 2b)^2} \right) \\
 &= E[\tilde{p}]x_l^* - \frac{x_l^{*2}}{2} \left(\frac{\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc}{V[\tilde{p}] + 2b} \right) \\
 &= \frac{E[\tilde{p}]}{2} x_l^*.
 \end{aligned} \tag{3.54}$$

Satz 3.14 (Terminmarktzugang). Für die Einführung eines unverzerrten Terminmarkts mit Transaktionskostenparameter b zahlt ein Unternehmen maximal den Betrag M_l mit:

$$M_l = \frac{E[\tilde{p}]^2}{2} \frac{\alpha^2 V[\tilde{p}]^2}{(\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc)(c + \alpha V[\tilde{p}])} > 0. \tag{3.55}$$

3 Modelltheoretische Analyse

Beweis.

$$\begin{aligned}
 M_l &:= \Phi(x_l^*, h_l^*) - \Phi(x_s^*) \\
 &= \frac{E[\tilde{p}]^2}{2} \left(\frac{\alpha V[\tilde{p}] + 2b}{\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc} - \frac{1}{c + \alpha V[\tilde{p}]} \right) \\
 &= \frac{E[\tilde{p}]^2}{2} \frac{\alpha^2 V[\tilde{p}]^2}{(\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc)(c + \alpha V[\tilde{p}])}.
 \end{aligned}$$

□

Je volatiler der Sportmarkt bzw. je höher der Grad der Risikoaversion, desto bedeutsamer ist der Terminmarktzugang für ein risikoaverses Unternehmen. Für die partielle Ableitung von M_l nach $\alpha V[\tilde{p}]$ gilt daher:⁹⁵

$$\frac{\partial M_l}{\partial \alpha V[\tilde{p}]} > 0. \quad (3.56)$$

Die optimale Produktionsmenge des Unternehmens wird – neben dem Terminmarktzugang – wesentlich vom Kostenparameter c bestimmt. Je kleiner c , desto höher ist ceteris paribus die Produktionsmenge und damit das produktionsinduzierte Preisrisiko bzw. desto höher ist die Marktzugangsprämie M_l . Unterscheiden sich zwei Unternehmen nur durch den Kostenparameter c , so ist das Unternehmen mit kleinerem c bereit, eine höhere Marktzugangsprämie zu zahlen. Die partielle Ableitung von Gleichung (3.55) nach Parameter c verdeutlicht diese Aussage:

$$\frac{\partial M_l}{\partial c} < 0. \quad (3.57)$$

Mit steigenden Transaktionskosten b wiederum fällt M_l :

$$\frac{\partial M_l}{\partial b} < 0. \quad (3.58)$$

Weitere Sensitivitätsanalysen für x_l^* und h_l^* werden kompakt in Tabelle 3.4 dargestellt. Dafür werden partielle Ableitungen der Produktionsmenge und der Hedgingmenge nach allen modellexogenen Parametern gebildet und interpretiert.

Die zwei Grenzfälle $b = 0$ und $b \rightarrow \infty$ werden untersucht, um die Konsistenz der bisherigen Modellergebnisse zu belegen.

⁹⁵Die Rechenwege für die partiellen Ableitungen von M_l werden nicht aufgezeigt, weil diese ähnlich den Rechenwegen der partiellen Ableitungen von M sind.

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

Tabelle 3.4: Sensitivitätsanalysen – Produktion mit Transaktionskosten, direktem Hedging und einer Risikoprämie von Null

(3.4.#)	Partielle Ableitung	Vorzeichen	Interpretation
1	$\frac{\partial x_l^*}{\partial c} = -\frac{E[\tilde{p}]}{\left(c + \frac{2b\alpha V[\tilde{p}]}{2b + \alpha V[\tilde{p}]}\right)^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Kostenparameters c führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge.
2	$\frac{\partial x_l^*}{\partial E[\tilde{p}]} = \frac{1}{\left(c + \frac{2b\alpha V[\tilde{p}]}{2b + \alpha V[\tilde{p}]}\right)^2}$	> 0	Ein risikoaverser Produzent steigert bei einer marginalen Erhöhung des Terminmarktpreises bzw. des erwarteten Spotmarktpreises seine Produktionsmenge.
3	$\frac{\partial x_l^*}{\partial V[\tilde{p}]} = -\frac{4b^2\alpha E[\tilde{p}]}{(\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc)^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung der Varianz des Spotmarktpreises führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge.
4	$\frac{\partial x_l^*}{\partial \alpha} = -\frac{4b^2 E[\tilde{p}] V[\tilde{p}]}{(\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc)^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Grads der absoluten Risikoaversion führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge.
5	$\frac{\partial x_l^*}{\partial b} = -\frac{2E[\tilde{p}]\alpha^2 V[\tilde{p}]^2}{(\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc)^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Transaktionskostenparameters b führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge.
6	$\frac{\partial h_l^*}{\partial c} = -\frac{E[\tilde{p}]}{\left(c + \frac{2b\alpha V[\tilde{p}]}{2b + \alpha V[\tilde{p}]}\right)^2} \beta_c$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Kostenparameters c führt zu einer Verringerung der Hedgingmenge.
7	$\frac{\partial h_l^*}{\partial E[\tilde{p}]} = \frac{1}{\left(c + \frac{2b\alpha V[\tilde{p}]}{2b + \alpha V[\tilde{p}]}\right)^2} \beta_c$	> 0	Ein risikoaverser Produzent steigert bei einer marginalen Erhöhung des Terminmarktpreises bzw. des erwarteten Spotmarktpreises seine Hedgingmenge.
8	$\frac{\partial h_l^*}{\partial V[\tilde{p}]} = \frac{2bc\alpha E[\tilde{p}]}{(\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc)^2}$	> 0	Eine marginale Erhöhung der Varianz des Spotmarktpreises führt zu einer Erhöhung der Hedgingmenge.
9	$\frac{\partial h_l^*}{\partial \alpha} = \frac{2bcV[\tilde{p}]E[\tilde{p}]}{(\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc)^2}$	> 0	Eine marginale Erhöhung des Grads der absoluten Risikoaversion führt zu einer Erhöhung der Hedgingmenge.
10	$\frac{\partial h_l^*}{\partial b} = -\frac{2\alpha V[\tilde{p}]E[\tilde{p}](\alpha V[\tilde{p}] + c)}{(\alpha V[\tilde{p}](c + 2b) + 2bc)^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Transaktionskostenparameters b führt zu einer Verringerung der Hedgingmenge.

Satz 3.15 (Konsistenz). *Für $b = 0$ besteht perfekte Liquidität am Terminmarkt. Es fallen keine Transaktionskosten an. Damit ist das Referenzmodell aus Abschnitt 3.2.1 ein Spezialfall des Modells mit begrenzter Liquidität. Für den anderen Grenzfall $b \rightarrow \infty$ der vollkommenen Illiquidität – der Terminmarkt existiert hier als theoretischer Grenzfall mit unendlich hohen Transaktionskosten – führt die Optimierung zu einem Hedgevolumen von Null sowie zu analogen Ergebnissen zum Modell ohne Zugang zu einem Hedgingmarkt.*

Beweis. Für $b = 0$ entsprechen die Gleichungen (3.50) und (3.51) den Gleichungen (3.15) und (3.16). Für $b \rightarrow \infty$ ist der Nenner von Gleichung (3.51) bestimmt divergent und damit das optimale Hedgevolumen h_l^* eine Nullfolge.⁹⁶ Gleichzeitig konvergiert das optimale Produktionsvolumen x_l^* aus Gleichung (3.50), nach Anwendung der Regel von L'Hôpital,⁹⁷ gegen Gleichung (3.28):

$$\lim_{b \rightarrow \infty} x_l^* = \lim_{b \rightarrow \infty} \frac{f(b)}{g(b)} = \frac{\infty}{\infty}$$

$$\lim_{b \rightarrow \infty} x_l^* = \lim_{b \rightarrow \infty} \frac{f'(b)}{g'(b)} = \frac{2E[\tilde{p}]}{2\alpha V[\tilde{p}] + 2c} = \frac{E[\tilde{p}]}{\alpha V[\tilde{p}] + c} = x_s^*.$$

□

3.3.2 Produktionsentscheidung und indirektes Hedging mit Transaktionskosten

Da bei Erwartungsnutzenmaximierung und direktem Hedging mit Transaktionskosten keine expliziten Ergebnisse herleitbar sind, wird in diesem Abschnitt nur das Modell der Produktions- und indirekten Hedging-Entscheidung bei Erwartungswert-Varianz-Präferenzen betrachtet. Es bleibt bei Annahme A.5*.

Für den Unternehmensgewinn, das Entscheidungsproblem und die Bedingungen erster Ordnung gilt:

$$\tilde{\pi}_c(x_c, h_c) = \tilde{p}x_c + h_c(g_{f_0} - bh_c - \tilde{g}) - \frac{c}{2}x_c^2.$$

⁹⁶Vgl. Bronstein u. a. (2008), S. 461.

⁹⁷Vgl. Chiang u. a. (2011), S. 258.

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

$$\begin{aligned}
\max_{(x_c, h_c)} \Phi(x_c, h_c) &= E[\tilde{\pi}_c] - \frac{\alpha}{2} V[\tilde{\pi}_c] \\
&= x_c E[\tilde{p}] + h_c (g_{f_0} - b h_c - E[\tilde{g}]) - \frac{c}{2} x_c^2 \\
&\quad - \frac{\alpha}{2} (x_c^2 V[\tilde{p}] + h_c^2 V[\tilde{g}] - 2 x_c h_c \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]) \\
\frac{\partial \Phi(x_c, h_c)}{\partial x_c} &= E[\tilde{p}] - c x_c - \alpha (x_c V[\tilde{p}] - h_c \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]) = 0
\end{aligned} \tag{3.59}$$

$$\frac{\partial \Phi(x_c, h_c)}{\partial h_c} = g_{f_0} - 2 b h_c - E[\tilde{g}] - \alpha (h_c V[\tilde{g}] - x_c \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]) = 0. \tag{3.60}$$

Die Bedingungen erster Ordnung (3.59) und (3.60) lassen sich kompakter in Matrixschreibweise darstellen und umformen:

$$\begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] \\ \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] & -(\alpha V[\tilde{g}] + 2b) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c^* \\ h_c^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E[\tilde{p}] \\ E[\tilde{g}] - g_{f_0} \end{pmatrix}.$$

Analog zu Abschnitt 3.2.2 werden zur Vereinfachung der Notation und zur besseren Interpretation zwei Variablen eingeführt. Das Hedging-Ratio β_c wird im Nenner erweitert, um die Auswirkungen der Transaktionskosten zu berücksichtigen:

$$\beta_c = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{V[\tilde{g}] + \frac{2b}{\alpha}}.$$

Dabei wird gezeigt, dass β_c das Hedging-Ratio als Verhältnis des optimalen Hedging- zum optimalen Produktionsvolumen darstellt. Das ursprüngliche Bestimmtheitsmaß ρ^2 wird für das Modell mit Transaktionskosten angepasst:

$$\rho_c^2 = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2}{V[\tilde{p}]V[\tilde{g}] + \frac{2bV[\tilde{p}]}{\alpha}}.$$

Sowohl das angepasste Hedging-Ratio als auch die angepasste Hedging-Effizienz hängen von den Parametern b und α ab. Durch die Anpassung des Hedge-Ratios und des Korrelationskoeffizienten lassen sich die Ergebnisse mit Transaktionskosten komfortabel mit den Ergebnissen des indirekten Hedgings ohne Transaktionskosten vergleichen. Allerdings führt die Veränderung der Parameter zu einem Verlust an statistischer Interpretationsmöglichkeit.⁹⁸

⁹⁸Vgl. Kosfeld u. a. (2016), S. 225ff. mit β als Steigungsmaß und ρ^2 als Gütemaß einer linearen Regressionsanalyse.

3 Modelltheoretische Analyse

Durch die Einführung von Transaktionskosten unterscheidet sich die Bedingung erster Ordnung für die optimale Hedgingmenge von der Bedingung erster Ordnung für die Minimierung der Fehlerquadrate im Rahmen einer linearen Regression. Gleichwohl ähneln sich die Ergebnisse: Für $b = 0$ entsprechen sich β und β_c bzw. ρ^2 und ρ_c^2 .

Als Lösung des linearen Gleichungssystems ergeben sich die optimale Produktionsmenge x_c^* und die optimale Hedgingmenge h_c^* .

$$\begin{aligned}
 x_c^* &= \frac{\det \begin{pmatrix} E[\tilde{p}] & -\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] \\ E[\tilde{g}] - g_{f_0} & -(\alpha V[\tilde{g}] + 2b) \end{pmatrix}}{\det \begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] \\ \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] & -(\alpha V[\tilde{g}] + 2b) \end{pmatrix}} \\
 &= \frac{E[\tilde{p}](\alpha V[\tilde{g}] + 2b) - \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}](E[\tilde{g}] - g_{f_0})}{(c + \alpha V[\tilde{p}])(\alpha V[\tilde{g}] + 2b) - \alpha^2 \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2} \\
 &= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2)} - \beta_c \frac{E[\tilde{g}] - g_{f_0}}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2)} \tag{3.61}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2)} \quad \text{falls} \quad E[\tilde{g}] = g_{f_0} \tag{3.62}$$

und

$$\begin{aligned}
 h_c^* &= \frac{\det \begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & E[\tilde{p}] \\ \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] & E[\tilde{g}] - g_{f_0} \end{pmatrix}}{\det \begin{pmatrix} c + \alpha V[\tilde{p}] & -\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] \\ \alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] & -(\alpha V[\tilde{g}] + 2b) \end{pmatrix}} \\
 &= \frac{(c + \alpha V[\tilde{p}])(g_{f_0} - E[\tilde{g}]) + E[\tilde{p}]\alpha \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}])(\alpha V[\tilde{g}] + 2b) - \alpha^2 \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2} \\
 &= \frac{(c + \alpha V[\tilde{p}])(g_{f_0} - E[\tilde{g}])}{(c + \alpha V[\tilde{p}]) + \alpha^2 V[\tilde{p}]V[\tilde{g}](1 - \rho_c^2)} + \beta_c \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2)} \tag{3.63}
 \end{aligned}$$

$$= \beta_c x_c^* \quad \text{falls} \quad E[\tilde{g}] = g_{f_0}. \tag{3.64}$$

Der Vergleich der optimalen Entscheidungen der Modelle bei indirektem Hedging mit bzw. ohne Transaktionskosten gestaltet sich einfach. Die Produktionsmengen x_i^* und x_c^*

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

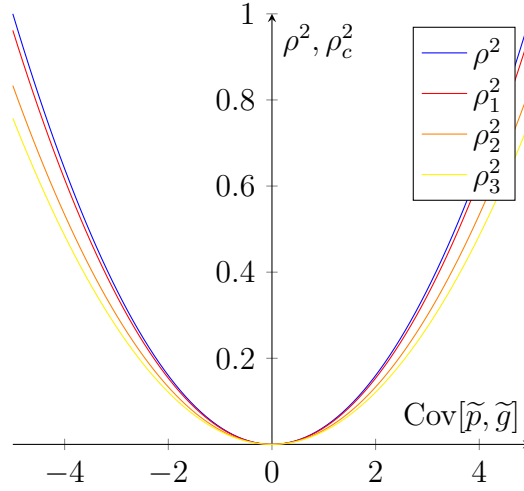


Abbildung 3.7: Vergleich der Hedging-Effektivitäten ρ^2 und ρ_c^2 in Abhängigkeit von $\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]$ für unterschiedliche b_i mit $i \in \{0, 1, 2, 3\}$
Parameter: $\alpha = 0.5, V[\tilde{p}] = 5, V[\tilde{g}] = 5, b_0 = 0, b_1 = 0.1, b_2 = 0.5, b_3 = 0.8$

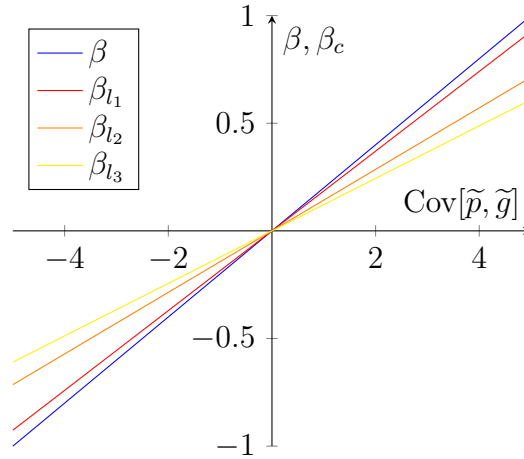


Abbildung 3.8: Vergleich der Hedge-Ratios β und β_c in Abhängigkeit von $\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]$ für unterschiedliche b_i mit $i \in \{0, 1, 2, 3\}$
Parameter: $\alpha = 0.5, V[\tilde{g}] = 7, b_0 = 0, b_1 = 0.1, b_2 = 0.5, b_3 = 0.8$

unterscheiden sich nur im Nenner hinsichtlich ρ^2 und ρ_c^2 . Bis auf den Fall $\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}] = 0$ gilt $\rho^2 > \rho_c^2$. Daraus folgt $x_i^* > x_c^*$. Mit steigendem b steigt die Differenz der Produktionsmengen.

Ähnlich einfach wie der Vergleich der Produktionsmengen lassen sich die Hedge-Ratios der Modelle vergleichen: Sind beide Spotmarktrisiken \tilde{p} und \tilde{g} unkorreliert, stimmen die Hedge-Ratios bei einem Wert von Null überein. In diesem Fall wird durch indirektes

3 Modelltheoretische Analyse

Hedging bzw. Cross Hedging das Preisrisiko nicht reduziert und es wird keine Position am Terminmarkt zur Preisabsicherung aufgebaut. Besteht eine von Null abweichende Kovarianz der Spotmarktpreisrisiken, gilt $|\beta| > |\beta_c|$ und $h_i^* > h_c^*$ wegen $\frac{2b}{\alpha} > 0$. Bei einer negativen Kovarianz wird als Gegenposition zum Verkauf der Produktion auf dem Spotmarkt zum unsicheren Preis \tilde{p} eine Kaufposition auf dem Terminmarkt von \tilde{g} eingegangen.

Die Präferenzfunktion $\Phi(x_c^*, h_c^*)$ kann wiederum explizit durch Einsetzen der Gleichungen (3.62) und (3.64) als Funktion der modellexogenen Parameter dargestellt werden. Es wird weiterhin eine Risikoprämie am Terminmarkt von Null unterstellt.

$$\begin{aligned}
\Phi(x_c^*, h_c^*) &= E[\tilde{p}]x_c^* - \frac{c}{2}x_c^{*2} - bh_c^{*2} - \frac{\alpha}{2}(x_c^{*2}V[\tilde{p}] + h_c^{*2}V[\tilde{g}] - 2x_c^*h_c^*\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]) \\
&= E[\tilde{p}]x_c^* - \frac{x_c^{*2}}{2}(c + 2b\beta_c^2 + \alpha(V[\tilde{p}] + \beta_c^2V[\tilde{g}] - 2\beta_c\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}])) \\
&= E[\tilde{p}]x_c^* - \frac{x_c^{*2}}{2}(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2)) \\
&= \frac{E[\tilde{p}]}{2}x_c^* = \frac{E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))}.
\end{aligned} \tag{3.65}$$

Satz 3.16 (Terminmarktzugang). *Für die Einführung eines unverzerrten Terminmarkts mit Transaktionskosten zahlt ein Unternehmen mit quadratischer Kostenfunktion maximal den Betrag M_c :*

$$M_c = E[\tilde{p}]^2 \frac{\rho_c^2 \alpha V[\tilde{p}]}{2(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))} > 0.$$

Beweis.

$$\begin{aligned}
M_c &:= \Phi(x_c^*, h_c^*) - \Phi(x_s^*) \\
&= E[\tilde{p}]^2 \left(\frac{1}{2(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))} - \frac{1}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])} \right) \\
&= E[\tilde{p}]^2 \frac{\rho_c^2 \alpha V[\tilde{p}]}{2(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))}.
\end{aligned}$$

□

Satz 3.17 vergleicht die optimalen Produktionsmengen bei direktem Hedging und Transaktionskosten x_l^* mit denen bei indirektem Hedging und Transaktionskosten x_c^* . Die

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

modellspezifischen Parameter b_l und b_c ersetzen den Parameter b . Es wird untersucht, welcher Zusammenhang zwischen b_l und b_c besteht, um gleiche Produktionsmengen und Präferenzwerte zu erzeugen. Dazu werden die Gleichungen (3.50) und (3.62) gleichgesetzt und nach b_l in Abhängigkeit von b_c umgestellt. So wird nachgewiesen, dass ein linearer Zusammenhang der Form $b_l = m + nb_c$ existiert.

Satz 3.17 (Vergleich der Produktionsmengen bei Hedging mit Transaktionskosten). *Die optimale Produktionsmenge x_l^* ist größer/gleich/kleiner als die optimale Produktionsmenge x_c^* , wenn gilt:*

$$b_l \begin{array}{l} < \\ = \\ > \end{array} \frac{\alpha V[\tilde{p}]}{2} \frac{1 - \rho_c^2}{\rho_c^2}.$$

Beweis.

$$\begin{aligned} x_l^* &= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}] \frac{2b_l}{2b_l + \alpha V[\tilde{p}]}} = x_c^* = \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2)} \\ \frac{2b_l}{2b_l + V[\tilde{p}]} &= 1 - \rho_c^2 \\ 2b_l &= (2b_l + \alpha V[\tilde{p}])(1 - \rho_c^2) \\ b_l &= \frac{\alpha V[\tilde{p}]}{2} \frac{1 - \rho_c^2}{\rho_c^2} \\ b_l &= \underbrace{\frac{\alpha V[\tilde{p}]}{2} (\rho^{-2} - 1)}_m + \underbrace{\frac{V[\tilde{p}]}{V[\tilde{g}]} \rho^{-2}}_n b_c. \end{aligned} \tag{3.66}$$

□

Bei einer Hedging-Effektivität von $\rho_0^2 = 1$ startet die Gerade $b_l(b_c) = m + nb_c$ mit:

$$b_l = \underbrace{\frac{\alpha V[\tilde{p}]}{2} \left(\frac{1}{\rho^2} - 1 \right)}_m + \underbrace{\frac{V[\tilde{p}]}{V[\tilde{g}]} \frac{1}{\rho^2}}_n b_c$$

im Ursprung ($m = 0$), weil sich für $b_l = b_c = 0$ die Produktionsmengen entsprechen. Oberhalb der Geraden gilt $x_l < x_c$ bzw. unterhalb $x_l > x_c$.

Eine abnehmende Hedging-Effektivität führt dazu, dass der b_l -Achsenabschnitt m und die Steigung n der Geraden $b_l(b_c)$ zunehmen, um den Vorteil des direkten Hedgings

3 Modelltheoretische Analyse

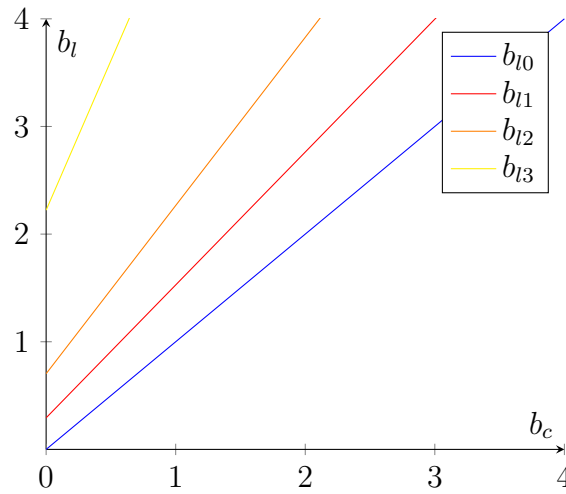


Abbildung 3.9: Produktionsgleichheit $x_l^* = x_c^*$ – Linearer Zusammenhang zwischen b_l und b_c für unterschiedliche Hedging-Effektivitäten ρ_i^2 mit $i \in \{0, 1, 2, 3\}$
Parameter: $\alpha = 0.5, \rho_0^2 = 1, \rho_1^2 = 0.81, \rho_2^2 = 0.64, \rho_3^2 = 0.36$

gegenüber dem indirekten Hedging durch höhere Transaktionskosten b_l auszugleichen. Für $\rho^2 = 0$ gilt $h_c^* = 0$ und $x_c^* = x_s^*$. Damit gleichermaßen $x_l^* = x_s^*$ erfüllt ist, muss $b_l \rightarrow \infty$ gelten. Die Definition von Achsenabschnitt m und von Steigung n bildet diesen Fall für $\rho^2 \rightarrow 0$ ab.

Sensitivitätsanalysen verdeutlichen wiederum die Robustheit und Richtungsänderung der optimalen Entscheidungen auf Parameteränderungen.

3.3 Modelle mit begrenzter Marktliquidität

Tabelle 3.5: Sensitivitätsanalyse – Produktion mit indirektem Hedging und Transaktionskosten, Risikoprämie von Null und $\rho \neq \pm 1$ ¹

(3.5.#)	Partielle Ableitung	Vorzeichen	Interpretation
1	$\frac{\partial x_c^*}{\partial c} = -\frac{E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Kostenparameters c führt zu einer Verringerung der Produktionsmenge. Im Vergleich zur Situation ohne Terminmarkt, siehe Tab. 3.1.3, reagiert ceteris paribus die Produktionsmenge weniger stark auf eine Veränderung von c , weil das Preisrisiko teilweise abgesichert werden kann. Im Vergleich zur Situation mit direktem Hedging reagiert die Produktionsmenge stärker auf die Veränderung des Kostenparameters, da das Preisrisiko nicht vollständig eliminiert werden kann.
2	$\frac{\partial x_c^*}{\partial E[\tilde{p}]} = \frac{1}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2)}$	> 0	Ein risikoaverser Stromproduzent erhöht bei einer marginalen Erhöhung des erwarteten Spotmarktpreises seine Produktionsmenge stärker als in einer Situation ohne indirekte Hedging-Möglichkeit.
3	$\frac{\partial x_c^*}{\partial V[\tilde{p}]} = -\frac{\alpha E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung der Varianz des Spotmarktpreises \tilde{p} führt zu einer geringeren Reduzierung der Produktionsmenge als in einer Entscheidungssituation ohne indirekte Hedging-Möglichkeit.
4	$\frac{\partial x_c^*}{\partial V[\tilde{g}]} = -\frac{\alpha \beta_c^2 E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))^2}$	< 0	Eine marginale Erhöhung der Varianz des Spotmarktpreises \tilde{g} führt zu einer geringeren Reduzierung der Produktionsmenge als in einer Entscheidungssituation ohne indirekte Hedging-Möglichkeit.
5	$\frac{\partial x_c^*}{\partial \alpha} = -\frac{(V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2) - \frac{2b}{\alpha} \beta_c^2) E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))^2}$	$\begin{matrix} \leq \\ > \end{matrix} 0$	Eine marginale Erhöhung der absoluten Risikoaversion führt zu einer nicht geringeren Reduzierung der Produktionsmenge als in einer Entscheidungssituation ohne indirekte Hedging-Möglichkeit.

¹ Die Vorzeichen der Sensitivitäten werden für $\beta_c > 0$ angegeben. Für $\beta_c < 0$ kehren sich die Vorzeichen der partiellen Ableitungen von h_t^* um.

3 Modelltheoretische Analyse

Tabelle 3.5: Sensitivitätsanalysen – Produktion mit indirektem Hedging und Transaktionskosten, einer Risikoprämie von Null und $\rho \neq \pm 1$ ¹ (Fortsetzung)

(3.5.#)	Partielle Ableitung	Vorzeichen	Interpretation
6	$\frac{\partial x_c^*}{\partial b} = -2\rho_c^2 \frac{E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))^2} \frac{V[\tilde{p}]}{V[\tilde{g}] + \frac{2b}{\alpha}}$	< 0	Eine marginale Erhöhung des Transaktionskostenparameters führt zu einer Reduzierung der Produktionsmenge.
7	$\frac{\partial h_c^*}{\partial E[\tilde{p}]} = \beta_c \frac{\partial x_c^*}{\partial E[\tilde{p}]}$	> 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β_c – auf Parameteränderungen.
8	$\frac{\partial h_c^*}{\partial V[\tilde{p}]} = \beta_c \frac{\partial x_c^*}{\partial V[\tilde{p}]}$	< 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β_c – auf Parameteränderungen.
9	$\frac{\partial h_c^*}{\partial V[\tilde{g}]} = \beta_c \frac{\partial x_c^*}{\partial V[\tilde{g}]} + \frac{\partial \beta_c}{\partial V[\tilde{g}]} x_c^*$	< 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β_c – auf Parameteränderungen, wobei $\frac{\partial \beta_c}{\partial V[\tilde{g}]} = -\frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{(V[\tilde{g}] + \frac{2b}{\alpha})^2} < 0$ gilt.
10	$\frac{\partial h_c^*}{\partial \alpha} = \beta_c \frac{\partial x_c^*}{\partial \alpha} + \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} x_c^*$	$\begin{matrix} \leq \\ > \end{matrix} 0$	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β_c – auf Parameteränderungen, wobei $\frac{\partial \beta_c}{\partial \alpha} = \frac{2b \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{(V[\tilde{g}] + \frac{2b}{\alpha})^2 \alpha^2} > 0$ gilt.
11	$\frac{\partial h_c^*}{\partial b} = \beta_c \frac{\partial x_c^*}{\partial b} + \frac{\partial \beta}{\partial b} x_c^*$	< 0	Das Hedgingvolumen reagiert wie die Produktionsmenge – korrigiert um den Faktor β_c – auf Parameteränderungen, wobei $\frac{\partial \beta_c}{\partial b} = -\frac{2 \text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{\alpha (V[\tilde{g}] + \frac{2b}{\alpha})^2} < 0$ gilt.

¹ Die Vorzeichen der Sensitivitäten werden für $\beta_c > 0$ angegeben. Für $\beta_c < 0$ kehren sich die Vorzeichen der partiellen Ableitungen von h_l^* um.

4 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen für die Energiewirtschaft

4.1 Zusammenfassung

Das Referenzmodell bestätigt – bei optimaler Produktions- und Hedging-Entscheidung auf Terminmärkten ohne Risikoprämie – die Separationseigenschaft und das Full-Hedge-Theorem.

Realwirtschaftlich führt der Zugang zu Terminmärkten zu einer Erhöhung der Produktionsmenge mit risikolosem Gewinn durch Vollabsicherung. Wird statt der „Erwartungsnutzenmaximierung“ die „Maximierung von (μ, σ) -Präferenzen“ zugrunde gelegt, kann die Marktzugangsprämie gemessen in Geldeinheiten ermittelt werden.

Die Abwandlung des Referenzmodells durch Einführung von Basisrisiken ohne perfekte Korrelation zwischen den Spotmarktpreisen zerstört die ursprüngliche Separationseigenschaft. Ohne das Treffen zusätzlicher Annahmen lassen sich für diesen Fall – bei weiterer Zugrundelegung der „Erwartungsnutzenmaximierung“ – keine expliziten Handlungsempfehlungen für die betriebliche Praxis herleiten.

Werden jedoch (μ, σ) -Präferenzen unterstellt, können leicht interpretierbare, für die betriebliche Praxis anwendbare Handlungsempfehlungen abgeleitet werden – wie die β -Regel für das optimale Hedgingvolumen.

Die Betrachtung von eingeschränkt liquiden bis illiquiden Terminmärkten über die Einbeziehung von Transaktionskosten (für die Teilnahme am Terminmarkt) erweitert die Modellierung um einen in der Literatur bislang wenig beachteten Aspekt: Neue Regeln für die optimale Produktions- und Hedging-Entscheidung können hergeleitet werden. Bisher aus der Literatur bekannte Messgrößen für die Hedging-Effektivität bilden nun

4 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen für die Energiewirtschaft

auch die Auswirkungen von Transaktionskosten ab und damit den monetären Mehrwert einer Hedging-Möglichkeit.

Das eigene Modell der optimalen Produktions- und Hedgingmenge unter Berücksichtigung von Basisrisiken und Hedging-Transaktionskosten bei (μ, σ) -Präferenzen stellt sich in letzter Konsequenz als Verallgemeinerung der bisherigen Modellalternativen heraus. Umgekehrt zeigen die Überlegungen zu Grenzübergängen, dass sich die bisherigen Modelle als Spezialfälle des eigenen Modells interpretieren lassen.

Mithilfe der Sensitivitätsanalysen sämtlicher Modelle mit (μ, σ) -Präferenzen lässt sich intuitiv und einfach überprüfen, wie robust die Entscheidungsvariablen auf Veränderungen der Parameter reagieren.

Die Modellergebnisse bei Erwartungswert-Varianz-Präferenzen, quadratischer Kostenfunktion und unverzerrten Terminmärkten lassen sich kompakt als Tabelle darstellen. Eigenständige Weiterentwicklungen von Modellvarianten sind dabei grau hinterlegt.

4.2 Handlungsempfehlungen für die energiewirtschaftliche Praxis

Auch wenn die Handelsvolumina an den deutschen Strombörsen und auf dem OTC-Markt in der Vergangenheit gestiegen sind, existieren für Marktteilnehmer am Großhandel für Strom weiterhin Transaktionskosten in Form von Bid-Offer-Spreads. Auf Basis der Modellergebnisse lassen sich Handlungsempfehlungen für EVU der deutschen Stromwirtschaft ableiten, die für eine Überprüfung in der betrieblichen Praxis in Frage kommen:

- Ökonomische Rationalität kann übergreifend für alle Wertschöpfungsstufen mithilfe eines einfachen (μ, σ^2) -Ansatzes als grobe Richtschnur operationalisiert werden. Der (μ, σ^2) -Ansatz lässt sich unternehmensweit einfach kommunizieren. Dabei dient dieser Ansatz nur der Entscheidungsunterstützung bzw. Entscheidungsvorbereitung und stellt nicht die Entscheidung selbst dar.
- Keine Separation: Bei gegebenen Transaktionskosten sollten Produktions- und Hedgingentscheidung simultan getroffen werden. Die Entscheidungen bedingen sich gegenseitig. Eine organisatorische Trennung in der Form, dass die Erzeugungsgesellschaft die Produktionsmengen auf Basis der Regel „Grenzkosten = Terminmarktpreis“ festlegt und die Handelsabteilung nachgelagert das Hedgingvolumen bestimmt, führt zu suboptimalen Ergebnissen. Als erster organisatorischer Schritt in Richtung „optimale Ergebnisse“

Tabelle 4.1: Modellvarianten aus der Literatur (1.-3.) und Weiterentwicklungen (grau hinterlegt)

Nr.	$\tilde{\pi}(x, h)$	x^*	h^*	$\frac{h^*}{x^*}$	$\Phi^*(x) = \frac{E[\tilde{p}]}{2} x^*$
1.	$\tilde{\pi}_s = \tilde{p}x_s - \frac{c}{2}x_s^2$	$x_s^* = \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}]}$	—	—	$\Phi_s^* = \frac{E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}])}$
2.	$\tilde{\pi} = \tilde{p}x + h(p_f - \tilde{p}) - \frac{c}{2}x^2$	$x^* = \frac{p_f}{c} = \frac{E[\tilde{p}]}{c}$	$h^* = 1x^*$	1	$\Phi^* = \frac{p_f^2}{2c}$
3.	$\tilde{\pi}_i = \tilde{p}x_i + h_i(g_f - \tilde{g}) - \frac{c}{2}x_i^2$	$x_i^* = \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)}$	$h_i^* = \beta x_i^*$	β	$\Phi_i^* = \frac{E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))}$
4.	$\tilde{\pi}_l = \tilde{p}x_l + h_l(p_{f0} - \tilde{p} - bh_l) - \frac{c}{2}x_l^2$	$x_l^* = \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}]} \frac{2b}{2b + \alpha V[\tilde{p}]}$	$h_l^* = \frac{\alpha V[\tilde{p}]}{\alpha V[\tilde{p}] + 2b} x_l^*$	$\frac{\alpha V[\tilde{p}]}{\alpha V[\tilde{p}] + 2b}$	$\Phi_l^* = \frac{p_{f0}^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}]) \frac{2b}{\alpha V[\tilde{p}] + 2b}}$
5.	$\tilde{\pi}_c = \tilde{p}x_c + h_c(g_{f0} - \tilde{g} - bh_c) - \frac{c}{2}x_c^2$	$x_c^* = \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2)}$	$h_c^* = \beta_c x_c^*$	β_c	$\Phi_c^* = \frac{E[\tilde{p}]^2}{2(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))}$

Notation:

$$\beta = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{V[\tilde{g}]}$$

$$\beta_c = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{V[\tilde{g}] + \frac{2b}{\alpha}}$$

$$\rho^2 = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2}{V[\tilde{p}]V[\tilde{g}]}$$

$$\rho_c^2 = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2}{V[\tilde{p}]V[\tilde{g}] + \frac{2bV[\tilde{p}]}{\alpha}}$$

4 Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen für die Energiewirtschaft

empfiehlt sich deshalb die Implementierung einer die Wertschöpfungsstufen übergreifenden Risikomanagementabteilung. Ob rechtliche Entflechtungsvorschriften dieser Empfehlung entgegenstehen, bedarf einer vorherigen juristischen Prüfung.

- Bei wenig liquiden Terminmärkten, mit hohen Basisrisiken und hohen Transaktionskosten, sollte die klassische β -Hedgingregel durch die β_c -Hedgingregel ersetzt werden.
- Bei Teilnahme an einem Handelsmarkt zu Hedgingzwecken empfiehlt es sich, neben den Transaktionskosten auch die realwirtschaftlichen, positiven Implikationen einer möglichen Produktionserhöhung zu berücksichtigen.

Die modelltheoretischen Ergebnisse sind allgemein gehalten und können auf teilweise andere Handelsmärkte für Energie – bspw. für Primärenergieträger – oder traditionelle finanzwirtschaftliche Handelsmärkte übertragen werden.

5 Anhang: Herleitung ausgewählter Sensitivitätsanalysen

Sensitivitätsanalyse bei Produktion mit indirektem Hedging, einer Risikoprämie von Null und $\rho \neq \pm 1$.

$$\begin{aligned}
 x_i^* &= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2)} \text{ , mit } \rho^2 = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2}{V[\tilde{p}]V[\tilde{g}]} \text{ und } \frac{\partial \rho^2}{\partial V[\tilde{g}]} = \frac{-\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2}{V[\tilde{p}]V[\tilde{g}]^2} \\
 \frac{\partial x_i^*}{\partial V[\tilde{g}]} &= \frac{\alpha E[\tilde{p}]V[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2} \frac{\partial \rho^2}{\partial V[\tilde{g}]} \\
 &= -\frac{V[\tilde{p}]}{V[\tilde{g}]} \frac{\alpha E[\tilde{p}]\rho^2}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho^2))^2} < 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_i^* &= \beta x_i^* \text{ , mit } \beta = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{V[\tilde{g}]} \text{ und } \frac{\partial \beta}{\partial V[\tilde{g}]} = \frac{-\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{V[\tilde{g}]^2} < 0 \\
 \frac{\partial h_i^*}{\partial V[\tilde{g}]} &= \underbrace{\beta}_{>0} \underbrace{\frac{\partial x_i^*}{\partial V[\tilde{g}]}}_{<0} + \underbrace{\frac{\partial \beta}{\partial V[\tilde{g}]}}_{<0} \underbrace{x_i^*}_{>0} < 0 \\
 \frac{\partial h_i^*}{\partial \rho^2} &= \underbrace{\beta}_{>0} \underbrace{\frac{\partial x_i^*}{\partial \rho^2}}_{>0} + \underbrace{\frac{\partial \beta}{\partial \rho^2}}_{>0} \underbrace{x_i^*}_{>0} > 0, \text{ wegen } \beta = \rho^2 \frac{V[\tilde{p}]}{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]} .
 \end{aligned}$$

5 Anhang: Herleitung ausgewählter Sensitivitätsanalysen

Sensitivitätsanalyse bei Produktion mit indirektem Hedging und Transaktionskosten, einer Risikoprämie von Null und $\rho \neq \pm 1$ und $\rho_c^2 < \rho^2$.

$$\begin{aligned}
 x_c^* &= \frac{E[\tilde{p}]}{c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2)}, \text{ mit } \rho_c^2 = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2}{V[\tilde{p}]V[\tilde{g}] + \frac{2bV[\tilde{p}]}{\alpha}} \text{ und } \frac{\partial \rho_c^2}{\partial V[\tilde{g}]} = \frac{-\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]^2}{V[\tilde{p}](V[\tilde{g}] + \frac{2b}{\alpha})^2} \\
 \frac{\partial x_c^*}{\partial V[\tilde{g}]} &= \frac{\alpha E[\tilde{p}]V[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))^2} \frac{\partial \rho_c^2}{\partial V[\tilde{g}]} \\
 &= -\beta_c^2 \frac{\alpha E[\tilde{p}]}{(c + \alpha V[\tilde{p}](1 - \rho_c^2))^2} < 0, \text{ wegen } \beta_c = \frac{\text{Cov}[\tilde{p}, \tilde{g}]}{V[\tilde{g}] + \frac{2b}{\alpha}}.
 \end{aligned}$$

Literaturverzeichnis

Adam-Müller 1993

ADAM-MÜLLER, Axel: Optimal Currency Hedging, Export, and Production in the Presence of Idiosyncratic Risk. In: *Swiss Journal of Economics and Statistics (SJES)* 129 (1993), 6, Nr. II, S. 197–208.

Adam-Müller 1995

ADAM-MÜLLER, Axel: *Internationale Unternehmensaktivität, Wechselkursrisiko und Hedging mit Finanzinstrumenten*. Physica, 1995.

Allaz 1992

ALLAZ, Blaise: Oligopoly, Uncertainty and Strategic Forward Transactions. In: *International Journal of Industrial Organization* 10 (1992), Nr. 2, S. 297–308.

Allaz u. Vila 1993

ALLAZ, Blaise ; VILA, Jean-Luc: Cournot Competition, Forward Markets and Efficiency. In: *Journal of Economic Theory* 59 (1993), Nr. 1, S. 1–16.

Anderson u. Danthine 1981

ANDERSON, Ronald W. ; DANTHINE, Jean-Pierre: Cross Hedging. In: *Journal of Political Economy* 89 (1981), Nr. 6, S. 1182–1196.

Bamberg u. Spremann 1981

BAMBERG, Günter ; SPREMMANN, Klaus: Implications of Constant Risk Aversion. In: *Zeitschrift für Operational Research* 25 (1981), S. 205–224.

Bamberg u. a. 2012

BAMBERG, Günther ; COENENBERG, Adolf G. ; KRAPP, Michael: *Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie*. Vahlen, 2012.

Baron 1970

BARON, David P.: Price Uncertainty, Utility, and Industry Equilibrium in Pure Competition. In: *International Economic Review* 11 (1970), Nr. 3, S. 463–480.

Benninga u. a. 1983

BENNINGA, Simon ; ELDOR, Rafael ; ZILCHA, Itzhak: Optimal Hedging in the Futures Market under Price Uncertainty. In: *Economics Letters* 13 (1983), Nr. 2–3, S. 141–145.

Benninga u. a. 1985

BENNINGA, Simon ; ELDOR, Rafael ; ZILCHA, Itzhak: Optimal International Hedging in Commodity and Currency Forward Markets. In: *Journal of International Money and Finance* 4 (1985), Nr. 4, S. 537–552.

Bessembinder u. Lemmon 2002

BESSEMBINDER, Hendrik ; LEMMON, Michael L.: Equilibrium Pricing and Optimal Hedging in Electricity Forward Markets. In: *Journal of Finance* 57 (2002), Nr. 3, S. 1347–1382.

Borchert u. a. 2006

BORCHERT, Jörg ; SCHEMM, Ralf ; KORTH, Swen: *Stromhandel*. Schäffer-Poeschel, 2006.

Brehme 2013

BREHME, Annett: *Marktpreisbasierte Kalkulation und Steuerung von Ergebnisbeiträgen in Energieversorgungsunternehmen*. Kovač, 2013.

Briys u. a. 1993

BRIYS, Eric ; CROUHY, Michel ; SCHLESINGER, Harris: Optimal hedging in a futures market with background noise and basis risk. In: *European Economic Review* 37 (1993), Nr. 5, S. 949–960.

Broll u. Eckwert 2009

BROLL, Udo ; ECKWERT, Bernhard: Modelling Information and Hedging: The Exporting Firm. In: *Economic Modelling* 26 (2009), Nr. 5, S. 974–977.

Broll u. Wahl 2012

BROLL, Udo ; WAHL, Jack E.: *Risikomanagement im Unternehmen*. Springer, 2012.

Broll u. a. 1995

BROLL, Udo ; WAHL, Jack E. ; ZILCHA, Itzhak: Indirect Hedging of Exchange Rate Risk. In: *Journal of International Money and Finance* 14 (1995), Nr. 5, S. 667–678.

Broll u. a. 1999

BROLL, Udo ; WAHL, Jack E. ; ZILCHA, Itzhak: Hedging Exchange Rate Risk: The Multiperiod Case. In: *Research in Economics* 53 (1999), S. 365–380.

Bronstein u. a. 2008

BRONSTEIN, Ilja N. ; SEMENDJAJEW, Konstantin A. ; MUSIOL, Gerhard ; MÜHLING, Heiner: *Taschenbuch der Mathematik*. Harri Deutsch, 2008.

Bundesnetzagentur u. Bundeskartellamt 2017

BUNDESNETZAGENTUR ; BUNDESKARTELLAMT: Monitoringbericht 2016. (2017).

Burger u. a. 2007

BURGER, Markus ; GRAEBER, Bernhard ; SCHINDLMAYR, Gero: *Managing Energy Risk*. Wiley, 2007.

Chavas u. Pope 1982

CHAVAS, Jean-Paul ; POPE, Rulon: Hedging and Production Decisions under a Linear Mean-Variance Preference Function. In: *Western Journal of Agricultural Economics* 7 (1982), Nr. 1, S. 99–110.

Chiang u. a. 2011

CHIANG, Alpha C. ; WAINWRIGHT, Kevin u. a.: *Mathematik für Ökonomen*. Vahlen, 2011.

Danthine 1978

DANTHINE, Jean P.: Information, Future Prices and Stability Speculation. In: *Journal of Economic Theory* 17 (1978), S. 79–98.

DeMarzo u. Duffie 1995

DEMARZO, Peter M. ; DUFFIE, Darrell: Corporate Incentives for Hedging and Hedge Accounting. In: *Review of Financial Studies* 8 (1995), Nr. 3, S. 743–771.

Dufey u. Srinivasulu 1983

DUFHEY, Gunter ; SRINIVASULU, S. L.: The Case for Corporate Management of Foreign Exchange Risk. In: *Financial Management* 12 (1983), Nr. 4, S. 54–62.

Ederington 1979

EDERINGTON, Louis H.: The Hedging Performance of the New Futures Markets. In: *Journal of Finance* 34 (1979), Nr. 1, S. 157–170.

Eldor u. Zilcha 1990

ELDOR, Rafael ; ZILCHA, Itzhak: Oligopoly, Uncertain Demand, and Forward Markets. In: *Journal of Economics and Business* 42 (1990), Nr. 1, S. 17–26.

Erdmann u. Zweifel 2010

ERDMANN, Georg ; ZWEIFEL, Peter: *Energieökonomik*. 2. Auflage. Springer, 2010.

Feder 1977

FEDER, Gershon: The impact of uncertainty in a class of objective functions. In: *Journal of Economic Theory* 16 (1977), Nr. 2, S. 504–512.

Feder u. a. 1980

FEDER, Gershon ; JUST, Richard E. ; SCHMITZ, Andrew: Futures Markets and the Theory of the Firm under Price Uncertainty. In: *Quarterly Journal of Economics* 94 (1980), Nr. 2, S. 317–328.

Fisher 1930

FISHER, Irving: *The Theory of Interest*. Macmillan, 1930.

Franke u. Hax 2009

FRANKE, Günter ; HAX, Herbert: *Finanzwirtschaft des Unternehmens und Kapitalmarkt*. Springer, 2009 (Springer-Lehrbuch Series).

Froot u. a. 1993

FROOT, Kenneth A. ; SCHARFSTEIN, David S. ; STEIN, Jeremy C.: Risk Management: Coordinating Corporate Investment and Financing Policies. In: *Journal of Finance* 48 (1993), 5, S. 1629–1658.

Froot u. Stein 1998

FROOT, Kenneth A. ; STEIN, Jeremy C.: Risk Management, Capital Budgeting, and Capital Structure Policy for Financial Institutions: an Integrated Approach. In: *Journal of Financial Economics* 47 (1998), S. 55–82.

Fung u. Leung 1991

FUNG, Hung-Gay ; LEUNG, Wai K.: The Use of Forward Contracts for Hedging Currency Risk. In: *Journal of International Financial Management & Accounting* 3 (1991), Nr. 1, S. 78–92.

Grill u. a. 2013

GRILL, Hannelore ; PERCZYNSKI, Hans ; INT-VEEN, Thomas ; PLATZ, Siegfried: *Wirtschaftslehre des Kreditwesens*. Bildungsverlag EINS, 2013.

Heifner 1972

HEIFNER, Richard G.: Optimal Hedging Levels and Hedging Effectiveness in Cattle Feeding. In: *Agricultural Economics Research* 24 (1972), Nr. 2, S. 25–36.

Holthausen 1979

HOLTHAUSEN, Duncan M.: Hedging and the Competitive Firm Under Price Uncertainty. In: *American Economic Review* 69 (1979), Nr. 5, S. 989–995.

Honda 1983

HONDA, Yuzo: Production Uncertainty and the Input Decision of the Competitive Firm facing the Futures Market. In: *Economics Letters* 11 (1983), Nr. 1–2, S. 87–92.

Hughes u. Kao 1997

HUGHES, John S. ; KAO, Jennifer L.: Strategic Forward Contracting and Observability. In: *International Journal of Industrial Organization* 16 (1997), Nr. 1, S. 121–133.

Hull 2015

HULL, John C.: *Optionen, Futures und andere Derivate*. 9. Auflage. Pearson, 2015.

Ishii 1977

ISHII, Yasunori: On the Theory of the Competitive Firm under Price Uncertainty: Note. In: *American Economic Review* 67 (1977), 9, Nr. 4, S. 768–69.

Jaenicke 2001

JAENICKE, Johannes: Price and Hedging Policy: The Case of an Intertemporarily Risk Averse Bank. In: *Economics Letters* 71 (2001), Nr. 3, S. 391–396.

Johnson 1960

JOHNSON, Leland L.: The Theory of Hedging and Speculation in Commodity Futures. In: *Review of Economic Studies* 27 (1960), Nr. 3, S. 139–151.

Kahneman u. Tversky 1979

KAHNEMAN, Daniel ; TVERSKY, Amos: Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. In: *Econometrica* 47 (1979), Nr. 2, S. 263–291.

Katz 1984

KATZ, Eliakim: The Firm and Price Hedging in an Imperfect Market. In: *International Economic Review* 25 (1984), Nr. 1, S. 215–219.

Kawai u. Zilcha 1986

KAWAI, Masahiro ; ZILCHA, Itzhak: International Trade with Forward-Futures Markets under Exchange Rate and Price Uncertainty. In: *Journal of International Economics* 20 (1986), Nr. 1–2, S. 83–98.

Kempf 1999

KEMPF, Alexander: *Wertpapierliquidität und Wertpapierpreise*. Gabler, 1999.

Konstantin 2017

KONSTANTIN, Panos: *Praxisbuch Energiewirtschaft*. 4. Auflage. Springer, 2017.

Korn 2004

KORN, Olaf: *Risikomanagement in Industrieunternehmen: Probleme des Derivateinsatzes bei unvollständig absicherbaren Risiken*. Habilitation, 2004. – University Mannheim.

Kosfeld u. a. 2016

KOSFELD, Reinhold ; ECKEY, Hans F. ; TÜRCK, Mattias: *Deskriptive Statistik*. Springer, 2016.

Kroll u. a. 1984

KROLL, Yoram ; LEVY, Haim ; MARKOWITZ, Harry: Mean-Variance Versus Direct Utility Maximization. In: *Journal of Finance* 39 (1984), Nr. 1, S. 47–61.

Kürsten 2006

KÜRSTEN, Wolfgang: Corporate Hedging, Stakeholderinteresse und Shareholder Value. In: *Journal für Betriebswirtschaft* 56 (2006), S. 3–31.

Lauth u. Kowalczyk 2015

LAUTH, Günther J. ; KOWALCZYK, Jürgen: *Thermodynamik*. Springer, 2015.

Laux u. a. 2012

LAUX, Helmut ; SCHENK-MATHES, Heike Y. ; GILLENKIRCH, Robert M.: *Entscheidungstheorie*. Springer, 2012.

Lence 1995a

LENCE, Sergio H.: The Economic Value of Minimum-Variance Hedges. In: *American Journal of Agricultural Economics* 77 (1995), Nr. 2, S. 353–364.

Lence 1995b

LENCE, Sergio H.: On the Optimal Hedge under Unbiased Futures Prices. In: *Economics Letters* 47 (1995), S. 385–388.

Lence 1996

LENCE, Sergio H.: Relaxing the Assumption of Minimum-Variance Hedging. In: *Journal of Agricultural and Resource Economics* 21 (1996), Nr. 1, S. 39–55.

Löffler 2001

LÖFFLER, Andreas: *Ein Paradox der Portfolio-Theorie und vermögensabhängige Nutzenfunktionen*. Gabler, 2001.

Lo u. a. 2006

LO, Andrew W. ; PETROW, Constantin ; WIERZBICKI, Martin: It is 11 pm – Do You Know Where Your Liquidity Is? The Mean–Variance–Liquidity Frontier. In: FONG,

H. G. (Hrsg.): *The World of Risk Management*. World Scientific Publishing, 2006, Kapitel 3, S. 47–92.

Markowitz 1952

MARKOWITZ, Harry: Portfolio Selection. In: *Journal of Finance* 7 (1952), S. 77–91.

Meyer 1987

MEYER, Jack: Two-Moment Decision Models and Expected Utility Maximization. In: *American Economic Review* (1987), S. 421–430.

Modigliani u. Miller 1958

MODIGLIANI, Franco ; MILLER, Merton: The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment. In: *American Economic Review* 48 (1958), S. 261–297.

Nance u. a. 1993

NANCE, Deana R. ; JR., Clifford W. S. ; SMITHSON, Charles W.: On the Determinants of Corporate Hedging. In: *The Journal of Finance* 48 (1993), S. 267–284.

Pennings u. Leuthold 2000

PENNINGS, Joost E. ; LEUTHOLD, Raymond M.: The Motivation for Hedging Revisited. In: *The Journal of Futures Markets* 20 (2000), Nr. 9, S. 865–885.

Pennings u. Meulenberg 1997

PENNINGS, Joost M. ; MEULENBERG, Matthew T.: The Hedging Performance in New Agricultural Futures Markets: A Note. In: *Agribusiness* 13 (1997), Nr. 3, S. 295–300.

Ranganathan u. Ananthakumar 2014

RANGANATHAN, Thiagu ; ANANTHAKUMAR, Usha: Does Hedging in Futures Market Benefit Indian Farmers? In: *Emerald Studies in Economics and Finance* 31 (2014), S. 291–308.

Rolfo 1980

ROLFO, Jacques: Optimal Hedging under Price and Quantity Uncertainty: The Case of a Cocoa Producer. In: *Journal of Political Economy* 88 (1980), Nr. 1, S. 100–116.

Röthig 2009

RÖTHIG, Andreas: Backwardation and Optimal Hedging Demand in an Expected Utility Hedging Model. Version: 2009. In: *Microeconomic Risk Management and Macroeconomic Stability*. Springer, 2009, S. 15–30.

Samuelson 1957

SAMUELSON, Paul A.: Intertemporal Price Equilibrium: A Prologue to the Theory of Speculation. In: *Weltwirtschaftliches Archiv* (1957), S. 181–221.

Sandmo 1971

SANDMO, Agnar: On the Theory of the Competitive Firm under Price Uncertainty. In: *American Economic Review* 61 (1971), 3, Nr. 1, S. 65–73.

Schiffer 2017

SCHIFFER, Michael: *Energiemarkt Deutschland*. TÜV Media, 2017.

Schneeweiss 1967

SCHNEEWEISS, Hans: Theorie der rationalen Entscheidungskriterien bei Ungewissheit. In: *Industrielle Organisation* 36 (1967), S. 501–507.

Sharpe 2000

SHARPE, William F.: *Portfolio Theory and Capital Markets*. McGraw-Hill, 2000.

Sinn 1983

SINN, Hans W.: *Decisions under Uncertainty*. Zweite Aufl. North Holland Publishing Company, 1983.

Smith u. Stulz 1985

SMITH, Clifford W. ; STULZ, Rene M.: The Determinants of Firms' Hedging Policies. In: *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 20 (1985), Nr. 4, S. 391–405.

Spieker 2010

SPIEKER, Jörg: Formen des OTC-Handels. In: SCHWINTOWSKI, Hans-Peter (Hrsg.): *Handbuch Energiehandel*. 2. Auflage. Erich Schmidt, 2010, S. 37–152.

Spremann 1986

SPREMANN, Klaus: Produktion, Hedging, Spekulation - Zu den Funktionen von Futures-Märkten. In: *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (ZfbF)* 38 (1986), 6, S. 443–464.

Stein 1961

STEIN, Jerome L.: The simultaneous Determination of Spot and Futures Prices. In: *American Economic Review* 51 (1961), Nr. 5, S. 1012–1025.

Sterner u. Stadler 2013

STERNER, Michael ; STADLER, Ingo: *Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration*. Springer, 2013.

Ströbele u. a. 2010

STRÖBELE, Wolfgang ; PAFFENBERGER, Wolfgang ; HEUTERKES, Michael: *Energie-wirtschaft*. 2. Auflage. Oldenbourg, 2010.

Strohbücker 2011

STROHBÜCKER, Sandra: *Bepreisung von Preis- und Mengenrisiken der Strombeschaffung unter Berücksichtigung von Portfolioaspekten bei Großkunden im Strommarkt*. Gabler, 2011.

Stulz 1984

STULZ, Rene M.: Optimal Hedging Policies. In: *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 19 (1984), Nr. 2, S. 127–140.

Tobin 1958

TOBIN, James: Liquidity Preference as Behavior Towards Risk. In: *Review of Economic Studies* 25 (1958), Nr. 2, S. 65–86.

Ulukut 2008

ULUKUT, Cem: *Absicherung von Preis- und Wechselkursrisiken in volatilen Märkten*. Kovač, 2008.

Ungern-Sternberg u. Weizsäcker 1990

UNGERN-STERMBERG, Thomas ; WEIZSÄCKER, Carl C.: Strategic Foreign Exchange. In: *Journal of Industrial Economics* 38 (1990), Nr. 4, S. 381–395.

Varian 1992

VARIAN, H.R.: *Microeconomic Analysis*. Norton, 1992.

Viehmann 2017

VIEHMANN, Johannes: State of the German Short-Term Power Market. In: *Zeitschrift für Energiewirtschaft* 41 (2017), S. 87–103.

Weber 2005

WEBER, Christoph: *Uncertainty in the Electric Power Industry: Methods and Models for Decision Support*. Springer, 2005.

Weber u. Woll 2007

WEBER, Christoph ; WOLL, Oliver: Portfolio Optimization in Electricity Trading with Limited Liquidity. In: *EWL Working Paper* (2007).

Wessel 2011

WESSEL, Christoph: *Hedging Risks in a Duopoly Framework*. Shaker, 2011.

Wolfstetter 2002

WOLFSTETTER, Elmar: *Topics in Microeconomics Industrial Organization, Auctions and Incentives*. Cambridge University Press, 2002.

Literaturverzeichnis

Woll u. Weber 2008

WOLL, Oliver ; WEBER, Christoph: Decision Problems including Limited Liquidity in Electricity Markets. In: *Working Paper University Duisburg-Essen* (2008).

Working 1953

WORKING, Holbrook: Futures Trading and Hedging. In: *American Economic Review* 43 (1953), Nr. 3, S. 314–343.

Zilcha u. Eldor 1991

ZILCHA, Itzhak ; ELDOR, Rafael: Exporting Firm and Forward Markets: The Multiperiod Case. In: *Journal of International Money and Finance* 10 (1991), S. 108–117.